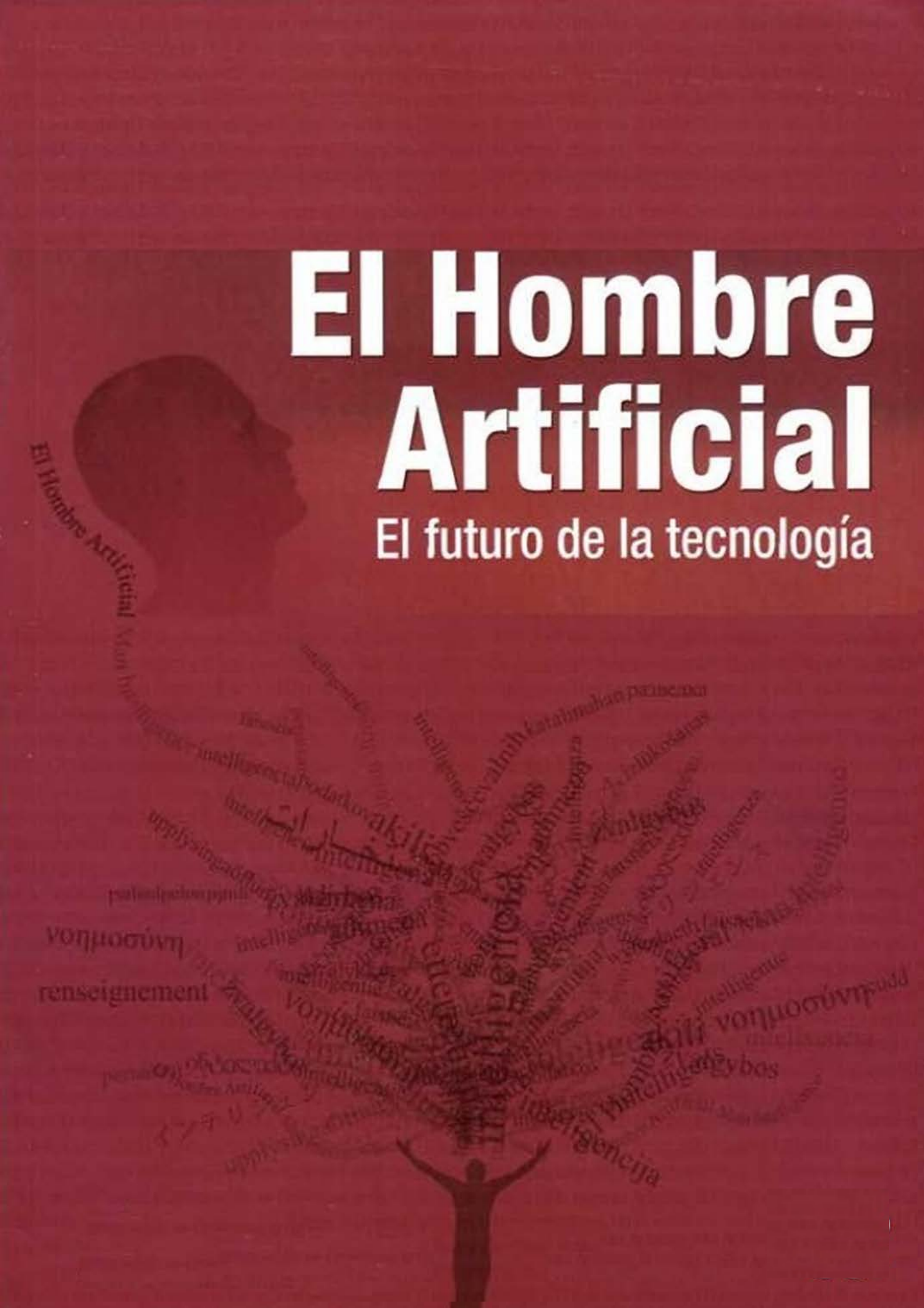
El Hombre Artificial

El futuro de la tecnología



En esta obra se exponen las tendencias de los avances en ciencia y tecnología que nos permitan inferir la época en la que cohabitaremos con máquinas con una capacidad cognitiva similar a la que tienen los humanos; de superinteligencia, de nuevos retos, que trascenderán los límites del progreso y transformarán a la humanidad para siempre. Llegaremos a esta época como resultado de los extraordinarios avances de las tecnologías emergentes como chips de silicio tridimensionales y transistores moleculares; computación molecular o computación con ADN; espintrónica y computación cuántica. El cambio de paradigma científico y el patrón de desarrollo usual de la ciencia madura, será cada vez más frecuente por lo que este paradigma será cada vez más corto. Copérnico, Darwin y Freud nos han hecho reflexionar sobre la naturaleza y posición del hombre sobre la tierra. Actualmente la inteligencia artificial (IA), la ingeniería genética, la nanotecnología, la computación cuántica y la robótica nos hacen reflexionar sobre el mismo tema, al sentido y la medida en que los seres humanos pueden ser entendidos como máquinas. La IA tendrá en las próximas décadas un impacto extraordinario y decisivo sobre las cuestiones sociales, económicas, comerciales, tecnológicas, científicas y ambientales que transformarán a la humanidad para siempre. Independientemente de las conjeturas sobre la época en que alcanzaremos la singularidad tecnológica, todo indica que tendremos que convivir con ciberorganismos, robots humanoides y hombres artificiales, con una grado de autosuficiencia tal como para tomar sus propias decisiones.

Ante una prospectiva un tanto de ficción, hay que destacar que somos lo que nosotros nos hacemos, y seremos finalmente los que nosotros nos hagamos a nosotros mismos.

Osvaldo Cairó Battistutti

El hombre artificial

El futuro de la tecnología

ePub r1.0
Titivillus 26.11.2023

Título original: *El hombre artificial*
Osvaldo Cairó Battistutti, 2011

Editor digital: Titivillus
ePub base r2.1

Índice de contenido

Cubierta
El hombre artificial
Introducción
Capítulo 1 Ideas del futuro
- **1.1 La inteligencia artificial como viento de este molino**
- **1.2 La imaginación no tiene límites**

Capítulo 2 Inteligencia artificial: pasado, presente y futuro
- **2.1 El nacimiento de la inteligencia artificial**
- **2.1 Post Dartmouth hasta 1970**
- **2.3 Entre realidades y desengaños desde 1970 hasta 1980**
- **2.4 La IA se convierte en una industria: Desde 1980 hasta la fecha**
- **2.5 El futuro de la inteligencia artificial**

Capítulo 3 Los diferentes enfoques de la inteligencia articial
- **3.1 Sistemas que piensan como humanos**
- **3.2 Sistemas que piensan racionalmente**
- **3.3 Sistemas que actúan como humanos**
- **3.4 Sistemas que actúan racionalmente**
- **3.5 Los avances de la inteligencia artitificial no se discuten**

Capítulo 4 La inteligencia artificial es objeto de polémica
- **4.1 Las críticas**
- **4.2 Sobre el significado de las palabras**

Capítulo 5 Inteligencia: ¿Qué significa
- **5.1 Teoría de las inteligencias múltiples**
- **5.2 Teoría triárquica de Sternberg**
- **5.3 Teoría de la inteligencia emocional**

Capítulo 6 Inteligencia: ¿Cómo se mide?
- **6.1 Los métodos psicométricos y la escala de Binet-Simon**
- **6.2 El coeficiente intelectual y la escala Stanford-Binet**
- **6.3 La escala Wechsler de inteligencia para adultos (WAIS)**
- **6.4 El exámen mental escocés: Scottish Mental Survey**
- **6.5 La inteligencia y la edad**
- **6.6. El efecto Flynn**
- **6.6.1 La renormalización de los exámenes**
- **6.7 Inteligencia general. El factor G**
- **6.7.1 Inteligencia fluida e inteligencia cristalizada**
- **6.8 La teoría Cattell-Horn-Carroll (CHC)**

Capítulo 7 La inteligencia, los genes y el medio ambiente
- **7.1 Genotipo, fenotipo y la herencia del CI**
  - **7.1.1 Plasticidad fenotípica**
  - **7.1.2 Factores epigenéticos**
  - **7.1.3 Herencia genética**

7.2 El estudio de Minnesota sobre gemelos
7.2.1 Otros estudios de familia sobre inteligencia
7.3 El proyecto de adopción de Texas
7.4 La influencia genética en el comportamiento humano
7.5 Fuertes críticas a la relación entre genetipos e inteligencia
7.6 La interacción gen - medio ambiente
Capítulo 8 Medidas físicas de la cognición
8.1 La relación entre el tamaño del cerebro y el intelecto
8.1.1 Grupos étnicos: Genotipos, fenotipos e inteligencia
8.1.2 Capacidad craneal y grupos étnicos
8.1.3 Tamaño del cerebro: ¿Métrica importante?
8.1.4 Técnicas diferentes: ¿Factor de imprecisión?
8.2 El radio entre el peso del cerebro y el peso corporal
8.3 Coeficiente encefálico, CE
8.3.1 La grasa distorisona la fórmula del CE
8.4 Comentarios finales sobre las medidas físicas de la cognición
Capítulo 9 Los savant y las sociedadades de alto coeficiente intelectual
9.1 Savant: un poco de historia
9.2 Los savant más fomosos
9.3 Sociedades de alto coeficiente intelectual
9.4 El CI más alto a nivel mundial: Marylin Vos Savant
9.4.1 El problema de The Monty Hall
9.4.2 El último teorema de Fermat
Capítulo 10 La consciencia y la mente: ¿Producto del cerebro?
10.1 La conciencia desde la perspectiva de la filosofía
10.2 La conciencia desde la perspectiva de la psicología
10.3 La conciencia desde la perspectiva de las ciencias cognitivas
10.4 La conciencia desde la perspectiva de la neurología
10.5 La conciencia desde la perspectiva cuántica
10.6 La conciencia desde la perspectiva de la inteligencia artificial
10.6.1 Conciencia artificial
10.6.2 Conciencia artificial: casos de estudio y experimentos
10.6.3 El experimento de las sustancias espirituales
Capítulo 11 Una visión futurista
11.1 Entre la ciencia y la ficción
11.2 Sobre la ley de Moore
11.3 La evolución de la sociedad por el consumo de energía
11.4 Las tecnologías emergentes y la época de gran aceleración
14.4.1 Chips de silicio tridimensional
14.4.2 Computación nuclear o computación con ADN
11.4.3 Espinotrónica
11.4.4 Computación cuántica
Capítulo 12
12.1 Primera generación de robots - Año 2010
12.1.1 Proyectos relacionados a la primera generación de robots

12.2 Segunda generación de robots - Año 2020
12.2.1 Proyectos relacionados a la segunda generación de robots
12.3 Terecera generación de robots - Año 2030
12.3.1 Proyectos relacionados a la tercera generación de robots
12.4 Cuarta generación de robots - Año 2040
12.4.1 Proyectos relacionados a la cuarta generación
12.5 Quinta generación de robots - Año 2050
12.5.1 Proyectos relacionados a la quinta generación de robots
Capítulo 13 Comentarios finales
Referencias
Autor
Notas

Para mi padre, quién, quizás sin saberlo, siempre marcó mi camino, me sacudió cada vez que estaba en las nubes y me hizo aterrizar, me confrontó mil veces para sacar lo mejor de mí —y también lo peor—, y me enseñó a enfrentarme a todo con todo, sin límites, para no traicionar ningún principio —pero se olvidó de explicarme sobre el control—. A mi madre, quién me acercó a la escuela y los libros desde muy pequeño. A mi otra parte, casi desde siempre, que siempre estuvo en las buenas y en las buenas. A mi hijo, que le da luz y brillo al camino. A charrúa, mi compañero inseparable, que me hace reír como nadie nunca ha sido capaz de hacerlo.

DR. OSVALDO CAIRÓ BATTISTUTTI.

Introducción

Copérnico con el heliocentrismo, Darwin con la teoría de la evolución y Freud con el psicoanálisis, en distintas épocas de la humanidad nos han hecho reflexionar sobre la naturaleza y posición del hombre sobre la tierra. Actualmente la inteligencia artificial (IA), la ingeniería genética, la nanotecnología, la computación cuántica y la robótica, entre otras disciplinas, aunque todas todavía en una fase inicial de pensamiento y desarrollo, considerando su inmenso potencial, otra vez nos vuelven a hacer reflexionar sobre el mismo tema. Las preguntas derivadas de estos nuevos campos de conocimiento refieren al sentido y la medida en que los seres humanos pueden ser entendidos como máquinas.

Estas novel disciplinas, emergentes, disruptivas e interdisciplinarias, convergerán seguramente en las próximas décadas, mediante la unificación NBIC-*nano-bio-info-cogno*-, y tendrán un impacto extraordinario y decisivo sobre una amplia gama de las cuestiones sociales, económicas, comerciales, tecnológicas, científicas y ambientales que transformarán la humanidad para siempre. Las tendencias de los avances en ciencia y tecnología son tan marcados en la actualidad que permiten inferir que en el futuro cercano llegaremos evidentemente a una época de súper inteligencia, de nuevos retos, una época de cambio de aceleración en la que será posible crecer a una tasa inconcebible en el pasado, una época que trascenderá los límites del progreso y transformará la humanidad para siempre, para dar lugar quizás al *transhumanismo*. El cambio de paradigma científico, el patrón de desarrollo usual de la ciencia madura, será cada vez más frecuente y la sociedad se deberá organizar de alguna forma para interpretar la nueva realidad.

En esta obra se establecen las bases que nos permitirán analizar desde diferentes perspectivas, aplicando supuestos, analogías y extrapolaciones, la época en la que el hardware de un artefacto podrá alcanzar la complejidad y velocidad del cerebro humano. La época seguramente de súper Inteligencia, de nuevos retos, la época que trascenderá los límites del progreso y transformará la humanidad para siempre para dar lugar al *transhumanismo*[1]. Aubrey de Grey (2009), ha utilizado recientemente el término *methuselarity* para referirse al punto en nuestro progreso contra el envejecimiento, en el que la expectativa racional sobre la esperanza de vida[2] —se considera vivir sin grandes deterioros fisiológicos y cognitivos relacionados con la edad—, será desde un mínimo de tres dígitos hasta prácticamente el Infinito. De Grey aclara que en ese *punto*, un período de transición de muy pocos años, la esperanza de vida se incrementará a razón de un año por cada doce meses transcurridos.

Nuestros análisis, por otra parte, nos permiten inferir que para el año 2035 contaremos con robots humanoides suficientemente inteligentes como para trabajar, por ejemplo, de enfermeros profesionales o maestros en algunos niveles escolares, y que para mitad de siglo alcanzaremos la época de *singularidad tecnológica*[3], una época de gran aceleración, en la que conviviremos con robots humanoides, ciberorganismos y hombres artificiales. Es decir, una era en la que cohabitaremos con máquinas con una capacidad cognitiva similar a la que exhiben los humanos en la actualidad. Consideramos además, que llegaremos esta época de gran aceleración como resultado de los extraordinarios avances de las siguientes tecnologías emergentes que desarrollaremos más adelante en este mismo capítulo: a) chips de silicio tridimensionales y transistores moleculares, b) computación molecular o computación con ADN, c) espintrónica, y d) computación cuántica.

El invento de almacenar Información por medio de diversas técnicas y tecnologías representa, según muchos lingüistas y biólogos, el hito que impulsó a los seres humanos a convertirse en la especie superior y más inteligente, que existe hoy en día en este planeta (Hilbert, 2009). El arqueólogo Christopher Henshilwood (2002) señala que el ejemplo más antiguo de arte abstracto, que define el comportamiento moderno de los humanos, data de hace más de 70,000 años y fue descubierto en las cuevas de Biombos, sobre el Océano Indico, en Sudáfrica. Henshilwood menciona a la revista *Science* que el hallazgo es el primer ejemplo de que nuestros antepasados utilizaban pensamiento abstracto. El *simbolismo*, que se manifiesta en las cuentas de un collar de conchas, es la piedra angular de lo que se observa posteriormente: el arte rupestre, los adornos personales, así como tipos de comportamiento más sofisticados. Este sistema de intercambio de información, el manejo de los símbolos y el lenguaje articulado explican, en cierta forma, la conducta del ser humano, dándole una connotación omnipresente y casi mística (Hilbert, 2009).

Hilbert (2009) señala que la fascinación con el poder de los símbolos y los significados quedó demostrado una vez más a mediados del siglo anterior cuando James Watson y Francis Crick (Watson & Crick, 1953) descifraron la estructura del ácido desoxirribonucleico, ADN, sentando las bases de la genética moderna. Watson señala en sus memorias *DNA, The Secret of Life* (Watson, 2003) que el libro *What's Life?* del científico con inquietudes filosóficas Erwin Schrödinger (1944), uno de los más grandes de la mecánica cuántica, lo inspiró a investigar los genes, lo que le permitió más adelante el descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN. Con este descubrimiento, la mística sobre el significado de la información ingresó, indudablemente, a una nueva dimensión. Algunos científicos explican el fenómeno de la vida inteligente como la expresión de complejos patrones de información, con códigos genéticos que se transmiten de una generación a otra y sistemas de conductas que se aprenden (Yockey, 2005; Baum, 2004). Otros investigadores, han afirmado más recientemente que, incluso, todo el universo físico se encuentra construido sobre los cimientos de la *información* y el *conocimiento* (Bekenstein, 2003; Talbot, 1991).

En los últimos años, indudablemente, el conocimiento, el acervo de conocimiento científico ha crecido en forma exponencial, Independientemente de la naturaleza del conocimiento. Los avances en ciencia y tecnología son tales, que el cambio de paradigma científico, como señala el gran epistemólogo estadounidense Thomas Kuhn en su libro *The Structure of Scientific Revolutions* (Kuhn, 1996), el patrón de desarrollo usual de la ciencia madura, será cada vez más frecuente, y el ciclo del paradigma, en consecuencia, será cada vez más corto. En el campo de la astrofísica, por ejemplo, se están construyendo sensores extremadamente poderosos para estudiar el espacio infinito. En laboratorios de bioinstrumentación se han dado los primeros pasos para la construcción de nanorobots, capaces de manipular moléculas aisladas y reordenar átomos. Los avances de la nanotecnología permiten inferir que en los próximos años se podrá monitorear y vigilar el estado de salud de los individuos por medio de nanosensores inmersos en el cuerpo. En el campo de la biología se ha logrado dilucidar el genoma humano mucho antes de lo esperado. En el campo de neurorobótica se han desarrollado prótesis cerebrales que permiten a pacientes tetrapléjicos mover objetos con el *pensamiento*. Los físicos esperan avanzar en la búsqueda de una teoría unificada, mediante el gran colisionador de hadrones. Recientemente se ha construido una computadora compuesta por moléculas de ADN capaz de realizar 330 trillones de operaciones por segundo con una exactitud de 99.8%, capaz de detectar actividad cancerosa en una célula y además liberar una droga o fármaco contra el cáncer después del diagnóstico. Predecir el futuro en estas circunstancias es una tarea extraordinariamente difícil, que se puede convertir en una misión casi imposible si el horizonte se extiende un poco más allá de una decena de años. Las tecnologías que ahora forman parte de la ciencia ficción y que incluso se desconocen en la actualidad, seguramente formarán parte de lo cotidiano en el año 2050.

La inteligencia artificial, entre otras disciplinas o buscando la unificación mediante la convergencia *NBIC -nano-bio-info-cogno-*, tendrán en las próximas décadas un impacto extraordinario y decisivo sobre una amplia gama de las cuestiones sociales, económicas, comerciales, tecnológicas, científicas y ambientales que transformarán seguramente la humanidad para siempre. Los cambios de paradigmas científicos serán frecuentes y la sociedad se deberá organizar de alguna forma para interpretar la nueva realidad. En ciencias sociales se utiliza justamente el término *cosmovisión*, una adaptación del alemán *Weltanschauung, Welt*, mundo, y *anschauen*, observar, para describir el conjunto de experiencias, creencias y valores que afectan la forma en que un individuo, época o cultura percibe la realidad y la forma en que responde a esa percepción. Adam Smith decía *el paradigma nos explica el mundo y nos ayuda a predecir su comportamiento*.

Los avances en ciencia y tecnología permiten inferir que en algunas décadas llegaremos a una época de súper inteligencia, de nuevos retos, una época que trascenderá los límites del progreso y transformará la humanidad para siempre para

dar lugar quizás al *transhumanismo*, una época de cambio de aceleración en la que será posible crecer a una tasa inconcebible en el pasado, una época en la que las capacidades físicas e intelectuales de los humanos se podrán incrementar en forma vertiginosa, una época en la que se podrán corregir o postergar evidentemente algunos aspectos de la condición humana, como las enfermedades, el envejecimiento e incluso la muerte, una época *de singularidad*, de superinteligencia, de grandes hitos, en la que conviviremos con robots humanoides, ciberorganismos y hombres artificiales con una inteligencia superior a la que exhiben los humanos en la actualidad.

Ante semejantes expectativas, es importante observar también que algunos científicos se muestran escépticos respecto al mundo imprevisible y cualitativamente diferente del actual que podemos encontrar en el año 2050. Irving Good, el matemático británico, se cuestiona incluso si en este mundo de máquinas súper inteligentes habrá incluso espacio para los humanos, decía Good (1965) …*Thus the first ultraintelligent machine is the last invention that man need ever make*. El australiano Hugo de Garis (2009) sugiere que la inteligencia artificial puede simplemente eliminar la raza humana, Bostrom (2000) señala a la superinteligencia como una posible causa para aniquilar a la humanidad, Bill Joy, el fundador *de Sun Microsystems*, advierte sobre los daños potenciales de la singularidad, y Vernor Vinge (1993) habla de la época de la singularidad como el fin de la era humana. Otros científicos, como Jeff Hawkins, Gordon Moore y Steven Pinker, mencionan en cambio que la singularidad nunca llegará.

Finalmente, independientemente de las diferentes conjeturas sobre la época en que alcanzaremos la singularidad tecnológica, si será en el año 2050 o en el año 2100, si la singularidad será tal y como se considera en la actualidad, o simplemente si nunca alcanzaremos la tan mencionada singularidad, todo indica que en las próximas décadas llegaremos a una época en que tendremos que convivir con ciberorganismos, robots humanoides y hombres artificiales, con una grado de autosuficiencia tal como para tomar sus propias decisiones. Mary Shelley en su obra gótica cumbre *Frankenstein: O el Moderno Prometeo*, la historia de un hombre obsesionado por crear vida artificial, publicada en 1818, considera un punto clave sobre la ética actual de la Inteligencia artificial. Shelley se cuestiona *¿si las máquinas creadas tuvieran inteligencia, podrían también sentir*?, ¿si pudieran sentir, tendrían los mismos derechos que un ser humano? (McCorduck, 2004). Aunque la discusión se observe en esta época aún prematura, muchas de estas interrogantes seguramente habrá que irlas contestando en los próximos años:

a. ¿Una mente en una máquina —artefacto— constituye una persona?
b. ¿Estas nuevas personas, si existieran, podrán morir?
c. ¿Podrán los artefactos conscientes sentir placer o dolor?
d. ¿Tendrán los artefactos conscientes deseos?
e. ¿Podremos diseñar el cuerpo del artefacto consciente?

f. ¿Nos podremos enamorar de un artefacto consciente, que siente placer y dolor, que tiene deseos, y además un cuerpo diseñado a medida, que incluye nuestros gustos?
g. ¿Tendremos individuos formados por componentes biológicos y no biológicos: ciborg?
h. ¿Cuáles serán los derechos de los artefactos conscientes y de los ciborg?
i. ¿Cuál será la esperanza de vida de un ciborg?
j. ¿Los ciborg alcanzarán la inmortalidad?
k. ¿Si la biostasis criónica es reversible, se podrán considerar como vivos los crionautas?

Ante una prospectiva un tanto de ficción como la que hemos descrito y un mundo imprevisible y cualitativamente diferente del actual al que llegaremos en las siguientes décadas, algunos individuos se muestran de alguna forma escépticos respecto al futuro de la raza humana, principalmente por los avances de la ciencia y tecnología. Sin embargo, hay que destacar que somos lo que nosotros nos hacemos, y seremos finalmente los que nosotros nos hagamos a nosotros mismos. El principal riesgo para la raza humana no parece ser los ciberorganismos, los robots humanoides y los hombres artificiales, sino los propios humanos, los hombres con ambición desmedida y sueños de poder que podrían llevar a la raza humana a su propia destrucción.

Capítulo 1
IDEAS DEL FUTURO

Copérnico con el heliocentrismo, Darwin con la teoría de la evolución y Freud con el psicoanálisis, en distintas épocas de la humanidad nos han hecho reflexionar acerca de la naturaleza y posición del hombre sobre la Tierra. Actualmente la inteligencia artificial (IA), la ingeniería genética, la nanotecnología, la computación cuántica y la robótica, entre otras disciplinas, aunque todas aún en una fase inicial de pensamiento y desarrollo, considerando su inmenso potencial, nuevamente nos llevan a reflexionar sobre el mismo tema. Las preguntas derivadas de estos nuevos campos de conocimiento refieren al sentido y la medida en que los seres humanos pueden ser entendidos como máquinas.

Estas novel disciplinas, emergentes, disruptivas e interdisciplinarias, convergerán seguramente en las próximas décadas por medio de la unificación NBIC —nano-bio-info-cogno—, y tendrán un impacto extraordinario y decisivo sobre una amplia gama de cuestiones sociales, económicas, comerciales, tecnológicas, científicas y ambientales, que transformarán la humanidad para siempre. Las tendencias de los avances en ciencia y tecnología son tan marcados en la actualidad, que permiten inferir que en el futuro cercano llegaremos evidentemente a una época de super inteligencia, de nuevos retos, una época de cambio de aceleración en que será posible crecer a una tasa inconcebible en el pasado, una época que trascenderá los límites del progreso y transformará la humanidad para siempre, para dar lugar quizás al transhumanismo. El cambio de paradigma científico, el patrón de desarrollo usual de la ciencia madura, será cada vez más frecuente y la sociedad se deberá organizar de alguna forma para interpretar la nueva realidad.

1.1 LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO VIENTO DE ESTE MOLINO

La inteligencia artificial es una de las disciplinas más nuevas. Formalmente surge en 1956 cuando se acuña el término en la Conferencia de Dartmouth, aunque ya existían algunos trabajos previos, unos de ciencia, otros de ficción. Un grupo de visionarios

del último siglo, Allen Newell, Herbert Simon, Warren McCulloch, John McCarthy, Claude Shannon y Marvin Minsky, entre otros, fundaron el área. El problema que aborda la inteligencia artificial es seguramente uno de los más complejos: *¿cómo es posible que un diminuto cerebro, sea biológico o electrónico, tenga capacidad para percibir, comprender, predecir y manipular un mundo que en tamaño capacidad lo excede con creces*? (Russell & Norvig, 2003).

La IA se dedica al diseño y desarrollo de artefactos, máquinas y software, los cuales deben actuar en forma racional, en forma inteligente. Muchas actividades que realizan los humanos, como resolver ciertos problemas matemáticos, jugar ciertos juegos como el ajedrez o las damas, o enviar una sonda espacial a Marte, requieren de inteligencia. Si las máquinas o programas pueden desarrollar con éxito estas actividades, entonces también les debemos atribuir un cierto grado de inteligencia. A esto nos referimos precisamente cuando hablamos de inteligencia artificial, de ingeniería inspirada en biología, del desarrollo de artefactos que deben mostrar un comportamiento similar al que exhiben los humanos o ciertos animales.

La Asociación Americana de Inteligencia Artificial (AAAI) define la Inteligencia artificial como: *la comprensión científica de los mecanismos que fundamentan el pensamiento y el comportamiento inteligente, y su incorporación en las máquinas*. John McCarthy**[1]**, uno de los fundadores de este campo de estudio, la define como: *la ciencia y la ingeniería de hacer máquinas inteligentes, especialmente programas de computadoras inteligentes*. Herbert Simon, Premio Nobel en Economía por su temprana Investigación en el proceso de toma de decisiones en organizaciones económicas, define la IA como: *artefactos inteligentes que exhiben un comportamiento que sería relacionado al concepto de Inteligencia si fuera realizado por seres humanos*.

Marvin Minsky, uno de los precursores de la inteligencia artificial, expresó con optimismo, cuarenta años atrás, que para los años noventa, con el arribo de las máquinas de quinta generación, prácticamente todo el intelecto humano estaría bajo el dominio de la máquina: el problema de crear inteligencia estaría resuelto en gran medida. En nuestros días, aunque podemos observar avances trascendentes en el área, como la máquina *Deep Blue* ganándole al campeón mundial de ajedrez Garry Gasparov, los robots geológicos *Spirit* y *Opportunity* recorriendo Marte, y en general con una gran cantidad de artefactos que muestran un comportamiento que los humanos podemos asociar con el concepto de Inteligencia, estamos lejos aún de alcanzar lo que Minsky pronosticó varios años atrás. En parte, porque existen aspectos de los procesos mentales que no se conocen lo suficiente como para poder formalizarlos. La versatilidad de la mente humana está lejos aún de poder trasladarse a una computadora.

1.2 LA IMAGINACIÓN NO TIENE LÍMITES

Hans Moravec (2003), profesor-investigador del Instituto de Robótica de Carnegie Mellon, reconocido por sus trabajos sobre el impacto de la tecnología en la sociedad y por sus escritos desde la óptica del transhumanismo, señala que actualmente las computadoras personales[2] más veloces ejecutan 1,000 MIPS —millones de instrucciones por segundo— Haciendo una extrapolación tal vez un poco riesgosa, se podría inferir que se necesitarían aproximadamente 65,000 MIPS para imitar funcionalmente sólo un gramo del tejido neuronal, y cerca de 100 millones de MIPS (1014) para emular el peso promedio de 1.5 kg del cerebro humano que contiene aproximadamente 100 billones de neuronas[3].

Raymond Kurzweil (2001), inventor y futurista, autor de los libros *The Age of Spiritual Machines* (Kurzweil, 2000) y *The Singularity is Near* (Kurzweil, 2006), menciona, por otra parte, que en el cerebro residen 100 billones de neuronas (10^{11}), que tienen 1,000 (10^3) conexiones cada una y efectúan en promedio 200 (2×10^2) operaciones por segundo. Esto implica que para emular el cerebro humano se necesitarían procesar alrededor de 2×10^{16} instrucciones por segundo (2×10^{10} MIPS)[4]. Otros investigadores, en cambio, señalan que cada neurona tiene de 5,600 a 60,000 conexiones dendríticas provenientes de otras neuronas y puede realizar aproximadamente 1,000 operaciones por segundo. Considerando estos datos, para emular la capacidad del cerebro humano se necesitarían aproximadamente 6×10^{18} instrucciones por segundo (6×10^{12} MIPS)[5].

Como se puede advertir claramente, las estimaciones presentadas acerca de las capacidades de procesamiento de las computadoras personales y del cerebro humano, están basadas en datos imprecisos e inciertos, que dificultan en la actualidad la obtención de medidas confiables[6]. Las comparaciones además son cuantitativas porque consideran el procesamiento de números de instrucciones y no toman en cuenta aspectos cualitativos del modelo como poder de la inteligencia, conciencia, sabiduría y creatividad, los cuales seguramente se encuentran entre los valores más preciados de los humanos.

H1. Si las computadoras actuales pueden procesar 1,000 MIPS (10^9) y para emular un cerebro humano se necesitarían alrededor de 2×10^{16} instrucciones por segundo, considerando la estimación de Kurzweil, entonces podríamos inferir que las computadoras personales más veloces de la actualidad pueden exhibir un comportamiento similar al de 0.000075 gramos o 0.000005% del cerebro humano. Estableciendo una analogía un tanto riesgosa, dado lo difícil que resulta la comparación entre un hardware basado en silicio y otro basado en neuronas, el comportamiento actual de las máquinas es similar al del sistema nervioso de un insecto o al que muestra un grupo de robots coordinados en competencias como RoboCup Robot Soccer.

Capítulo 2
INTELIGENCIA ARTIFICIAL: PASADO, PRESENTE Y FUTURO

El escritor y bioquímico ruso Isaac Asimov describió en 1942 en su libro de ciencia-ficción *Runaround* las tres leyes de la robótica (Asimov, 1950). Los robots de Asimov basaban su raciocinio e inteligencia en cerebros artificiales *positrónicos*[1]. Las leyes simples, directas y con buenos principios éticos, eran formulaciones impresas en los cerebros de las máquinas, que debían obedecer en todo momento:

- Un robot no puede hacer daño a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño.
- Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto si estas órdenes entraran en conflicto con la *Primera Ley*.
- Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la *Primera* o la *Segunda Ley*.

Joseph Engelberger, que en 1958 construyó el primer robot industrial llamado *Unimate* y a quien se le considera como el padre de la *robótica*, atribuyó su fascinación por los robots a las lecturas de Asimov. Si bien los textos de este escritor y bioquímico ruso resultaron muy estimulantes, los primeros en presentar un trabajo acerca de la *inteligencia artificial* (IA) fueron el neurofisiólogo Warren McCulloch y el matemático Walter Pitts (McCulloch y Pitts, 1943). El artículo trataba sobre fisiología básica y funcionamiento de las neuronas del cerebro, el análisis formal de la lógica proposicional de Bertrand Russell y Alfred Whitehead, y la teoría computacional de Alan Turing. El escrito fue muy importante por diferentes razones: a) fue el primer trabajo sobre inteligencia artificial, b) en él los autores analizan el cerebro como un organismo computacional y c) proponen la construcción de computadoras con una estructura abstracta similar al de las redes neuronales biológicas.

Las neuronas propuestas por McCulloch y Pitts son elementos de actividad binaria. El valor de actividad de cada neurona, 0 o 1, depende del valor de actividad de sus entradas, cada una de ellas ponderada de acuerdo con un coeficiente denominado peso *sinóptico*[2]. Cuando la neurona se estimula o excita a través de sus entradas y alcanza cierto umbral, la neurona se dispara o activa, pasando una señal a un *axón*[3]. La contribución de McCulloch y Pitts fue, indudablemente, el fundamento de las *redes neuronales artificiales, RNA*. Seis años más tarde, el fisiólogo Donald Hebb (1949) señaló que las redes neuronales podían *aprender* si se reconfiguraban las intensidades de conexiones entre neuronas. Hebb explicó que la repetida activación de una neurona por otra a través de una sinapsis determinada, aumenta su conductividad y la hace más propensa a ser activada sucesivamente. Esto induce a la formación de un circuito de neuronas estrechamente conectadas entre sí. Es importante observar que Hebb fue el primero en explicar el proceso de *aprendizaje* de una red neuronal artificial.

Ya en la década de los cincuenta, Claude Shannon (1950), el padre de la *teoría de la información*, publicó un artículo en que describía cómo *una* máquina podía ser *capaz* de jugar razonablemente bien al ajedrez. Shannon utilizó el método *minimax*, el cual se basa en una función de evaluación para decidir el mejor movimiento de una pieza en el tablero. Ese mismo año, el matemático, criptógrafo y filósofo Alan Turing (1950) publicó *Computing Machinery and Intelligence*, en el que presentó una prueba, *Prueba de Turing*, con la que Intentó ofrecer una definición operativa de lo que es la inteligencia. Turing sostenía que si una máquina se comportaba en todos los aspectos como Inteligente, entonces se debería considerar como tal: inteligente.

En 1951, Marvin Minsky y Dean Edmonds construyeron el primer simulador de redes neuronales, al que denominaron SNARC. La máquina estaba compuesta por 3,000 bulbos y simulaba una red neuronal de 40 neuronas. En 1952, Arthur Samuel, de IBM, escribió el primer programa para jugar *damas*. Aunque el comportamiento del programa no le permitía competir contra los buenos jugadores, fue un acontecimiento importante en la programación de inteligencia artificial. Samuel también pudo demostrar que las computadoras no hacían solamente lo que se les ordenaba que ejecutaran, como consideraba Lady Lovelace[4]. Su programa aprendió, se convirtió en un buen jugador y terminó comportándose, incluso, mejor que su creador.

2.1 EL NACIMIENTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Así llegamos a Dartmouth. La conferencia organizada en el año 1956 por John McCarthy (Dartmouth College, New Hampshire), Marvin Minsky (Harvard University), Nathaniel Rochester (IBM Corporation) y Claude Shannon (Bell Telephone Laboratories) marca un hito en la historia de la IA, porque además de

acuñarse ahí el término *inteligencia artificial*, se llegó a la definición de las suposiciones básicas del núcleo teórico:

a. El reconocimiento de que el pensamiento puede ocurrir fuera del cerebro, es decir, en máquinas.

b. La suposición de que el pensamiento puede ser comprendido de manera formal y científica.

c. La suposición de que la mejor forma de entenderlo es a través de computadoras digitales.

En esa misma conferencia, el multifacético y Premio Nobel de Economía Herbert Simon[5] y el físico Allen Newell llamaron la atención, porque presentaron el primer programa de inteligencia artificial al que llamaron *teórico lógico*. El programa, capaz de demostrar teoremas matemáticos representando cada problema como un modelo de árbol, pudo demostrar 38 de los 52 teoremas del segundo capítulo de *Principia Mathematica* de Russell y Whitehead.

2.2 POST DARTMOUTH HASTA 1970

En los años siguientes a la Conferencia de Dartmouth las investigaciones continuaron y generaron grandes esperanzas. El futuro se presentaba brillante y los investigadores, en consecuencia, eran muy optimistas. En 1958 se estimó, por ejemplo, que las computadoras serían campeonas de ajedrez en el término de 10 años. Herbert Simon, expresando la euforia de la época, manifestó: “Sin afán de sorprenderlos y dejarlos atónitos, debo informarles lisa y llanamente que actualmente en el mundo existen máquinas capaces de pensar, aprender y crear. Además su capacidad para hacer lo anterior aumentará rápidamente hasta que en un futuro previsible la magnitud de problemas que podrán manejar irá a la par con la capacidad de la mente humana para hacer lo mismo” (Simon y Newell, 1958). Y unos años más tarde, siete para ser más preciso, Simon volvió a remarcar: *Machines will be capable, within twenty years, of doing any work that a man can do* (Crevier, 1993). Marvin Minsky, en 1967, también expresó su entusiasmo de la siguiente forma: *within a generation… the problem of creating artificial intelligence will substantially be solved* (Crevier, 1993).

Respecto a las contribuciones del periodo, en 1957, Allen Newell y Herbert Simon presentaron el solucionador general de problemas, *general problems solver*, GPS (Newell y Simon, 1972). El método, aunque diseñado para resolver problemas generales, podía solucionar problemas bien definidos, teoremas en lógica o geometría, puzzles, etc. El GPS fue además la base para otros desarrollos teóricos de Newell, como SOAR (Laird et al.; 1987) y GOMS (Card et al.; 1983). En 1958, John

McCarthy se trasladó de Dartmouth al Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT[6]) y ahí desarrolló el lenguaje de programación simbólica y funcional LISP[7] (McCarthy, 1960). En 1962, McCarthy se instala en la Universidad de Stanford y ahí funda el Laboratorio de Inteligencia Artificial. Ese mismo año, Joseph Engelberger instaló el primer robot industrial en General Motors. En 1963, Feigenbaum y Feldman publicaron *Computers and Thought* (Feigenbaum y Feldman, 1963), el primer libro que Incluye 20 artículos sobre inteligencia artificial, de pioneros del área como Alan Turing, Marvin Minsky y Herbert Simon.

En 1964, Daniel Bobrow, en su disertación en el MIT, presentó el programa llamado *STUDENT*, que comprendía *lenguaje natural* suficientemente bien como para resolver problemas de álgebra en forma correcta. En 1965, Joseph Weizenbaum, del MIT, construyó *ELIZA*, un programa Interactivo que podía sostener un diálogo en inglés, prácticamente sobre cualquier tópico. En 1966, Ross Quillan, en su disertación para doctorarse en el Instituto de Tecnología de Carnegie[8], presentó las *redes semánticas*, el primer método que se utilizó para la *representación del conocimiento*. Ese mismo año, Donald Michle comenzó en la Universidad de Edimburgo una serle de *workshops* sobre máquinas inteligentes. En 1967, Edward Feigenbaum, Joshua Lederberg[9] y Bruce Buchanan, en la Universidad de Stanford, desarrollaron DENDRAL (Lederberg, 1967), el primer *sistema basado en conocimientos*. El objetivo del sistema era determinar la estructura química molecular de un compuesto orgánico a partir de datos generados por un espectrógrafo de masa.

En 1968, Marvin Minsky y Seymour Papert publicaron el libro *Perceptions: An Introduction to Computational Geometry* (Minsky & Papert, 1969), en el que presentaron los límites de las redes neuronales simples. Minsky, el hombre que construyó la primera máquina que realizaba simulaciones neuronales, demostró en este libro teoremas que desechaban gran parte de las Investigaciones previas sobre redes neuronales. En el mismo año, Papert desarrolló el lenguaje de programación LOGO. Roger Schank, en 1969, definió el modelo de dependencia conceptual para la comprensión del lenguaje natural (Schank, 1972).

2.3 ENTRE REALIDADES Y DESENGAÑOS: DESDE 1970 HASTA 1980

A diferencia del periodo anterior en el que el futuro se veía brillante, la década de los setenta comenzó con algunos sinsabores. Salieron a la luz tanto la *intratabilidad* de muchos de los problemas que se estaba intentando resolver con técnicas de inteligencia artificial, así como la incapacidad para manejar en forma correcta la *explosión combinatoria*[10], el cual fue uno de los mayores obstáculos, además de que la gobernabilidad de la *conducta inteligente* a través de una máquina no era precisamente como se había intuido inicialmente. No obstante los obstáculos señalados, en este periodo se hicieron contribuciones muy importantes.

Jaime Carbonell (1970), en los inicios de la década, desarrolló *SCHOLAR*, el primer sistema tutor inteligente, un programa interactivo basado en redes semánticas que enseñaba geografía de América del Sur y conducía la sesión por medio de un diálogo. En el mismo año, William Woods (1970) presentó las redes *de transición aumentada* (ATN's) para el análisis del *lenguaje natural*. En 1971, Terri Winograd, en el laboratorio de inteligencia artificial del MIT, presentó *SHRDLU*[11], un programa para la comprensión del lenguaje natural que comprendía instrucciones y manipulaba el brazo de un robot para trabajar con bloques. En 1972, Alain Colmerauer desarrolló el lenguaje de programación lógica *PROLOG*, y William Woods elaboró *LUNAR*, un *sistema basado en conocimientos* que permitía a los geólogos realizar consultas en inglés sobre las muestras de piedras que habían sido traídas de la Luna por los astronautas del *Apollo 11* (Woods et al.; 1972).

En 1974, Ted Shortliffe (1974) en su disertación para obtener el grado de doctor en la Universidad de Stanford presentó el *sistema experto MYCIN*. El sistema, escrito en LISP, diagnosticaba enfermedades infecciosas de la sangre, podía mostrar el proceso de razonamiento que seguía para llegar al diagnóstico y recetaba medicamentos personalizados a cada paciente, en función de su condición de salud, estatura, peso, edad, etc. El funcionamiento de MYCIN se basaba en un *motor de inferencia* que manejaba una *base de conocimientos* de unas 500 *reglas de inferencia*, aproximadamente. Además contaba con un método para el tratamiento de la incertidumbre, *factores de certeza*, similar a la forma en que los médicos ponderan la evidencia cuando hacen un diagnóstico. En el mismo año, Pople y Myers presentaron el *sistema experto INTERNIST*, que diagnosticaba sobre enfermedades de medicina interna, y Earl Sacerdoti (1974) desarrolló el primer programa de planeación *ABSTRIPS*.

En la otra mitad de la década, en 1975, Marvin Minsky publicó un artículo sobre *frames* —marcos— para la representación del conocimiento. El método permitía recopilar información acerca de un objeto particular y ciertos eventos, y organizar esta información en grandes jerarquías taxonómicas, similares a las que se utilizan en biología. En 1979, Duda y su equipo de investigación desarrollaron *PROSPECTOR*, un *sistema experto* en prospección geológica, el cual permitió localizar yacimientos de molibdeno en el estado de Washington, en Estados Unidos, valorados en 100 millones de dólares (Duda et al.; 1979). El sistema experto utilizaba un *modelo probabilístico bayesiano* para aproximar su conocimiento. En el mismo año, Hans Moravec (1983), del Instituto de Robótica de la Universidad de Carnegie-Mellon, presentó *The Stanford Cart* (**figura 1**), el primer vehículo autónomo controlado por computadora. El robot pudo atravesar una habitación llena de sillas en aproximadamente 5 horas, sin ninguna intervención humana.

Figura 1. The Stanford Cart[12].

También en el año de 1979, Douglas Hofstadter (1999) publicó *Gödel, Escher y Bach: An Eternal Golden Braid*. El libro, que inspiró a miles de estudiantes a comenzar sus cameras en computación e iniciar estudios en inteligencia artificial, le permitió a Hofstadter ganar el Premio Pulitzer en 1980, en la categoría general no-ficción.

2.4 LA IA SE CONVIERTE EN UNA INDUSTRIA: DESDE 1980 HASTA LA FECHA

En este lapso la *inteligencia artificial* se convierte en una verdadera industria; es la época en que cientos de productos derivados de tecnología de inteligencia artificial comienzan a comercializarse en todo el mundo. En la floreciente industria de la IA prosperaban compañías como *Carnegie Group, Inference, Intellicorp* y *Teknowledge*, que disponían de herramientas de software para la construcción de sistemas expertos, así como compañías de hardware como *Lisp Machines Inc., Texas Instruments, Symbolics* y *Xerox*, en las que se construían estaciones de trabajo para el diseño de programas en Lisp (Russell y Norvig, 2003).

En 1980, Lee Erman, Rick Hayes-Roth, Victor Lesser y Raj Reddy (Erman et al.; 1980) publicaron su primera versión del modelo de pizarrón para el sistema HEARSAY-II, construido para la comprensión de la voz. En el mismo año, en la Universidad de Stanford se celebra la First National Conference of the American Association of Artificial Intelligence. En 1981, Danny Hillis (1989) diseña la máquina conexionista en el MIT. Una supercomputadora compuesta por máquinas seriales más pequeñas, que operan concurrentemente e intercambian mensajes entre ellas. La máquina fue diseñada para realizar aplicaciones de inteligencia artificial y procesamiento simbólico, aunque más tarde también tuvo mucho éxito en el campo de la ciencia de la computación. Es la primera arquitectura que se contrapone a la tradicional de Von Neumann. Unos años más tarde, Hillis y Handler fundaron la empresa Thinking Machines, en Massachussets. En 1982, el primer sistema experto comercial, Rl, se comenzó a utilizar en Digital Equipment Corporation. El programa se usaba para configurar los equipos Digital de acuerdo con las necesidades de los clientes. A mediados de la década, las redes neuronales comenzaron a utilizar el algoritmo de propagación hacia atrás, introducido por Werbo en 1974. El algoritmo, de aprendizaje supervisado, se emplea incluso en la actualidad para entrenar a las redes neuronales artificiales.

En 1987, Marvin Minsky (1987) publicó el libro *The Society of Mind*, una descripción teórica de la mente como una colección de agentes cooperativos. En el mismo año, John Laird, Allen Newell y Paul Rosembloon (Laird et al.; 1987)

presentaron *SOAR*, la arquitectura de agente total. En 1989, Dean Pomerleau (1989) desarrolló el primer vehículo autónomo *ALVINN*, en la Universidad de Carnegie Mellon. El vehículo fue capaz de conducir, basándose tanto en las entradas visuales como en experiencias previas, desde Washington DC a San Diego, durante el 98% del trayecto, de los casi 4,500 km de recorrido. Unos años más tarde, Ernst Dickmanns (2007), un experto en visión dinámica, construyó el primer vehículo autónomo confiable, basado en un Mercedes Benz de la clase S. Dicho vehículo fue capaz de realizar el recorrido de 1,758 km de Múnich en Bavaria, Alemania, hasta Odense en Dinamarca, ida y vuelta, en rutas públicas, a más de 180 km/h en algunos tramos.

Ya en 1996, la computadora Deep *Blue* le ganó una partida y empató otras dos con el campeón mundial de ajedrez Garry Kasparov. El resultado final fue 4-2 a favor del campeón mundial. Deep *Blue* calculaba en ese entonces 100 millones de jugadas por segundo, pero carecía de la sensibilidad necesaria para apoderarse de la sutileza del juego posicional, el sello de la verdadera maestría. En mayo de 1997, en un escenario diferente, una nueva y mejorada computadora ***Deep Blue*** se Impuso y derrotó a Kasparov por un marcador de 3.5-2.5. Esta nueva versión calculaba 200 millones de jugadas por segundo, el doble que el año anterior, y alcanzaba rangos de 11.38 gigaflops. En el año 2003, Kasparov se enfrentó a la computadora Israelí ***Deep Junior***, tres veces consecutivas campeona mundial de máquinas, y el resultado fue empate, 3-3. En el año 2005, ***Hydra***, la máquina desarrollada por Christian Donninger, Ulf Lorenz, Christopher Lutz y Muhammad Nasir Ali, y ubicada físicamente en Abu Dhabi en los Emiratos Arabes Unidos, derrotó contundentemente al séptimo ranqueado, el británico Michel Adams, 5.5-0.5. Hydra puede realizar análisis de 200 millones de jugadas por segundo utilizando el método alfa-beta prunning y analizar jugadas a 18 niveles de profundidad. Si bien los cálculos que realiza por segundo son similares a ***Deep Blue***, alcanza una profundidad mucho mayor y utiliza un método de evaluación diferente que le permiten jugar mejor. Es importante observar que el ranking Elo**[13]**, adoptado por la USCF y la FIDE y que calcula el nivel de habilidad de jugadores en competencias de juegos como ajedrez o el Go, señala que hay 1,868 jugadores con un ranking de 2,400-2,499 puntos, 563 con 2,500-2,599, 123 con 2,600-2,699, 31 con 2,700 y 2,799, y sólo cinco jugadores, Garry Kasparov, Vladimir Kramnik, Veselin Topalov, Vlswanathan Anand y Magnus Carlsen, con un puntaje superior a 2,800 puntos. Garry Kasparov es el humano que obtuvo el máximo puntaje hasta la fecha, alcanzando 2,851 puntos en una partida celebrada en el año 1999. La nueva super poderosa máquina para jugar ajedrez *Rybka*[14], diseñada por el gran maestro Vasik Rajlich, y campeona mundial de ajedrez por máquina en los años 2007, 2008 y 2009, alcanzó recientemente una puntuación de 3,227 puntos.

En la década de los noventa se presentaron avances notables en los campos de: *aprendizaje de máquina* (Mitchell, 1997), *sistemas tutores inteligentes* (Sawyer,

2006; Beck et al.; 2004), *razonamiento basado en casos* (Aamodt y Plaza, 1994; Watson, 1997a; Leake, 1996), planeación (Palmer, 1999; Dean y Kambhampati, 1997), razonamiento probabilístlco (Pearl, 2000; Shafer y Pearl, 1990), minería de datos[15] (Wright, 1998; Han y Kamber, 2000), comprensión y traducción de lenguaje natural[16] (Jurafsky y Martín, 2000), realidad virtual (Burdea y Coiffet, 2003), visión artificial[17] (Paraglos et al.; 2005), y otros.

En el campo de la robótica, por otra parte, se llevó a cabo en Nagoya, Japón, en 1997, la primera competencia mundial RoboCup Robot Soccer, en la que participaron 40 equipos y más de 5,000 espectadores. En el año 2000, Cynthia Breazeal[18] del MIT, en su disertación acerca de las máquinas sociables, presentó el robot *KISMET* que expresaba emociones faciales. En el año 2004, los robots espaciales geológicos, *Spirit* y *Opportunity* (**figura 2**) arribaron al planeta rojo, Marte, para analizar los restos orgánicos presentes en las rocas de la superficie.

Figura 2.[19] Los robots *Spirit y Opportunity en* Marte.

En febrero del año 2006, la sonda espacial *Mars Express*, el vehículo orbital europeo que se encuentra en órbita en torno a Marte, entabló comunicación con el robot *Spirit*, por primera vez y fuera de los límites de nuestro planeta. Finalmente, en octubre de 2008, científicos de la universidad de Osaka en Japón, presentaron el robot humanoide más impactante (**figura 3**), tanto por la cantidad de detalles en los gestos, como por sus 50 sensores inteligentes y la infinidad de motores que tratan de dar vida a una niña de cinco años de edad. Si bien el robot en primera instancia provoca cierto rechazo por su apariencia, presenta una muestra de lo que serán los robots humanoides en los próximos años.

Figura 3. Robot R1 desarrollado en la Universidad de Osaka.

2.5 EL FUTURO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Lo que podemos hacer, depende de lo que podemos construir (Drexler, K).

Los últimos productos presentados, desarrollados con tecnología de inteligencia artificial, seguramente hubieran sido considerados como de ciencia-ficción unos años atrás, un género especulativo que enlaza a dos culturas, la científica y la humanística, que mezcla lo posible con lo imposible, y que se puede desarrollar tanto en el terreno

del pasado como del futuro. En nuestros días tales productos son una realidad. La inteligencia artificial, entre otras disciplinas o buscando la unificación mediante la convergencia NBIC[20] —nano-bio-info-cogno—, tiene todo el potencial para mejorar la calidad de vida de los Individuos del mundo entero. Los artefactos Inteligentes pueden, por ejemplo, sustituir a los humanos en situaciones peligrosas, cuando existan elementos radioactivos o en cualquier lugar en confinamiento donde haya poco oxígeno para respirar. Este tipo de reemplazos puede eliminar muertes indeseadas debido a accidentes potenciales por condiciones inseguras.

Capítulo 3

LOS DIFERENTES ENFOQUES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La *Conferencia de Dartmouth*, organizada por John McCarthy en 1956, marcó un hito en la corta historia de la IA, porque además de acuñarse específicamente el término *inteligencia artificial* en esa conferencia, se llegó a la definición de las suposiciones básicas de su núcleo teórico. El campo, inicialmente, se fundó con la convicción de que la IA se podía simular en una computadora; en realidad se pensaba que el proceso del pensamiento humano se podía describir por medio de la manipulación mecánica de símbolos. En los años posteriores a la conferencia, se resolvieron problemas de álgebra, se demostraron teoremas lógicos, se obtuvieron resultados sorprendentes. El optimismo reinaba entre sus fundadores, una máquina tan inteligente como un ser humano se podría desarrollar en no más de una década. Unos años más tarde, después de algunos reveses, se comenzó a observar que se había subestimado la complejidad del proyecto y varias desilusiones comenzaron a aflorar. El desarrollo y el progreso fueron continuos en los años siguientes, independientemente de las subidas y bajadas naturales, de su cuestionada reputación, de éxitos y fracasos. En la actualidad la IA se presenta como una disciplina madura, que en muy poco tiempo ha alcanzado resultados verdaderamente asombrosos.

Durante estos poco más de cincuenta años de IA ha habido indudablemente diferentes enfoques, algunos concentrados en los modelos mentales y otros de tipos conductistas, otros enfocados en la eficiencia humana, y unos más cerca del concepto ideal de inteligencia, conocido como racionalidad. Cada uno de estos enfoques pertenece a un intervalo de tiempo más o menos definido, que coincide con la presencia, la visión, el optimismo, la desilusión y las contribuciones de ciertos investigadores. Los enfoques más importantes de la IA son: a) sistemas que piensan como humanos, b) sistemas que piensan racionalmente, c) sistemas que actúan como humanos, y d) sistemas que actúan racionalmente.

3.1 SISTEMAS QUE PIENSAN COMO HUMANOS

Uno de los primeros enfoques de la IA se conoce con el nombre de *modelo cognoscitivo,* esto es, *sistemas que piensan como humanos*. El enfoque coincide plenamente con la visión que tenían los pioneros de la IA; basta recordar el optimismo de Simon —*machines will be capable, within twenty years, of doing any work that a man can do* (Crevier, 1993)— y Minsky —*within a generation… the problem of creating artificial intelligence will substantially be solved* (Crevier, 1993) — respecto de esta nueva disciplina, a mediados de la década de los sesentas. La idea central del modelo considera que las máquinas cuentan con información y la procesan con el propósito de comprender y predecir.

El modelo cognitivo en realidad tuvo su origen intelectual cuando se comenzó a desarrollar teorías de la mente basadas en procesos computacionales y representaciones complejas. De esta forma vio también la luz la ciencia cognitiva, el estudio interdisciplinario y multidisciplinario de la mente y de la inteligencia. La ciencia cognitiva, impulsada por John McCarthy —matemático—, Marvin Minsky —matemático—, Herbert Simon —economista—, George Miller —psicólogo—, Allan Newell —psicólogo— y Noam Chomsky—lingüista—, coincidió con el advenimiento de las primeras computadoras, la fundación del campo de la inteligencia artificial y los trabajos de lingüística generativa de Chomsky. Institucionaimente surge a mediados de los años setenta con la fundación de la *Cognitive Science Society* y la revista *Cognitive Science*. La *ciencia cognitiva*, como se puede inferir, es un campo multidisciplinario que encuentra en la intersección de ciertas disciplinas, incluidas la psicología, la lingüística, la inteligencia artificial, la filosofía, la fisiología, la neurología y la antropología.

Los científicos cognitivos estudian la naturaleza de la inteligencia desde un punto de vista psicológico, construyendo modelos computacionales que ayudan a comprender lo que ocurre en la mente cuando: se resuelven problemas, se recuerda, se percibe, y se realizan otros procesos psicológicos. La hipótesis central en la ciencia cognitiva es que el pensamiento puede ser comprendido en términos de estructuras que se representan en la mente y procedimientos computacionales que operan sobre dichas estructuras. Los teóricos cognitivos sugieren que la mente *contiene* representaciones mentales análogas a las estructuras de datos, como proposiciones lógicas, reglas, conceptos, imágenes y analogías, y *utiliza* procedimientos mentales similares a los algoritmos computacionales, como deducciones, búsquedas, rotaciones y recuperaciones[1].

Es importante observar también que si bien el enfoque: *sistemas que piensan como humanos*, coincide con las ideas de los fundadores de la inteligencia artificial, no implica que algunos investigadores contemporáneos no piensen de la misma forma. Jeff Hawkins, por ejemplo, el inventor de la *PalmPilot* y fundador de las empresas *Palm, Numenta* y el *Redwood Center for Theoretical Neuroscience*, señaló

recientemente que en el futuro cercano podremos construir máquinas inteligentes que piensen como humanos. Hawkins expresa en su libro On *Intelligence* (Hawkins y Blakeslee, 2004) que el cerebro funciona en base a la memorización y el reconocimiento de patrones, de tal manera que la tarea que realiza la corteza cerebral es la predicción: a) establecer la relación que existe entre las entradas, b) memorizarla y c) usar la memoria para predecir el comportamiento de otras entradas en el futuro. *Los algoritmos utilizados por el cerebro son suficientemente generales y versátiles como para que pueda reconocer, crear, imaginar y aprender: todas las propiedades de la mente pueden ser explicadas por estos algoritmos*. La plataforma *NuPIC,*[2] *Numenta Platform for Intelligent Computing*, presentada por Numenta, permitirá a las máquinas —según los autores— cuando se desarrollen adecuadamente: aprender, reconocer imágenes, comprender una lengua compleja, moverse con facilidad en un entorno complejo, e interpretar datos en la misma forma que lo hace el cerebro humano. Cabe agregar que *NuPIC* ya se encuentra disponible en el mercado, aunque funciona a nivel de educación y experimentación.

En general, la ciencia cognitiva ha producido una cantidad ingente de estudios y contribuciones al área, pero hasta la fecha no ha podido presentar —seguramente por la gran complejidad del tema— una teoría sólida que muestre la forma de pensar de los humanos. Por otra parte, en un entorno de análisis riguroso, cabría sugerir que para que en realidad un sistema piense como humano, primero habría que definir la forma correcta en que piensan los humanos, la forma precisa en que razonan, lo cual hasta el momento no se conoce con precisión. Sin un modelo detallado de cómo los 100 trillones de sinapsis —conexiones entre los 100 billones de neuronas (Kandel et al.; 2000)— trabajan sobre el nivel neuroquímico, es muy difícil obtener un modelo detallado de la manera en que trabaja el cerebro. El gusano nematodo, *caenorhabditis elegans*, por ejemplo, ha sido estudiado durante cuarenta años en forma constante. Actualmente se sabe que su cerebro tiene un poco más de 300 neuronas y 7000 sinapsis. Sin embargo, no se ha podido desarrollar aún un modelo computacional sobre su sistema nervioso. El número de sinapsis del cerebro de un humano es 100 billones de veces más grande que el de este gusano (Kassan, 2006).

Con las investigaciones en neurociencias, los estudios sobre la mente y el cerebro, los avances en el conexionismo —filosofía de la mente—, ocurre algo extraño. Cuanta más información se adquiere acerca del tema, menos parece conocerse sobre el mismo. Se presenta un antiprogreso, señala Kassan (2006). Hace treinta años se estimaba que el número de neuronas del cerebro era entre 3 y 10 billones, en la actualidad se calcula que el número de neuronas en el cerebro supera los 100 billones.

Una definición de inteligencia artificial bajo el enfoque del modelo cognoscitivo fue propuesta por Haugeland (1989): La interesante tarea de lograr que las computadoras piensen… máquinas con mente, en su amplio sentido literal.

3.2 SISTEMAS QUE PIENSAN RACIONALMENTE

El segundo enfoque es el aristotélico, el de *las leyes del pensamiento: sistemas que piensan racionalmente*. Aristóteles fue el primero, en su obra *Órganon*, en codificar la forma correcta de pensar, es decir procesos de pensamientos irrefutables. Se trata de sus famosos silogismos, esquemas de argumentación mediante los cuales siempre se llega a conclusiones verdaderas si se parte de premisas correctas. Dichas leyes del pensamiento debían gobernar la forma de operar de la mente humana. Así se inaugura el campo de la lógica (Russell y Norvig, 2003). Aristóteles utiliza la lógica como un instrumento de conocimiento y para referirse al estudio de los argumentos dentro del lenguaje apofántico**[3]** como manifestador de verdad en la ciencia. Pensaba además que la verdad se manifiesta siempre en el juicio verdadero y el argumento válido en el silogismo.

En el *enfoque de las leyes del pensamiento* se utiliza a la *lógica* como una alternativa para representar al conocimiento y como la manera válida de razonar. La lógica explora la forma que tenemos de obtener conocimiento a partir de otros conocimientos, realizando siempre inferencias correctas. El enfoque, sin embargo, tiene dos obstáculos importantes. En primer lugar, es difícil *tratar* con el conocimiento que es rico, fluido, intuitivo, impreciso y/o Incierto, difícil de capturar en términos lógicos, y *expresarlo* en los términos formales que exige la notación lógica, para poder posteriormente realizar inferencias sobre él. Por otra parte, es muy diferente resolver en principio un problema, y luego hacerlo realmente en la práctica (Russell y Norvig, 2003). Existe una gran cantidad de problemas del mundo real que agotarían rápidamente los recursos de la máquina —espacio, memoria— en la fase inicial de la solución del problema. Incluso, si llegáramos a contar con la memoria apropiada, seguramente tendríamos problemas con el tiempo. Estos dos factores, espacio y tiempo, son críticos en la solución de problemas.

Un ejemplo que refleja un espacio de búsqueda gigantesco e ilustra los factores de espacio y tiempo, corresponde al problema del agente viajero (PAV), *travelling salesman problem*, un problema de optimización combinatorial. Conceptualmente es un problema simple: *un viajante debe recorrer todas las ciudades asignadas, sin pasar dos veces por la misma ciudad, y regresara su ciudad de origen cubriendo la distancia más corta*. Asumiendo que la gráfica es simétrica y la distancia entre dos ciudades es la misma en ambas direcciones para n = 6, tenemos n!/2*n = 60 soluciones. Si n = 10, entonces existen = 181,000 soluciones. Si n = 20, tenemos s 10,000,000,000,000,000 posibles soluciones. Considerando una máquina que resuelva 10,000 casos por segundo, se tardaría = 195,545 años en analizar todas las posibles soluciones. Afortunadamente, para resolver problemas de optimización combinatoria computacional o de tipo NP-completo como el enunciado, existen en la actualidad diferentes métodos —redes de Hopfield, heurísticas evolutivas, programación lineal, etc— que permiten encontrar soluciones en tiempos razonables

para instancias del problema del agente viajero, incluso para valores muy grandes de n.[4]

Una definición de inteligencia artificial bajo el enfoque de las leyes del pensamiento es la siguiente: El estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales (Charniak y McDermott, 1985). Cabe señalar que si bien los dos primeros enfoques analizados se relacionan con procesos de pensamiento y razonamiento, mientras el primero se asocia al desempeño humano, el segundo se enfoca más en un concepto Ideal de inteligencia, conocido como racionalidad.

3.3 SISTEMAS QUE ACTÚAN COMO HUMANOS

El tercer enfoque, *sistemas que actúan como humanos*, fue motivado principalmente por la teoría conductista introducida por Thorndike (1874-1949) y Watson (1878-1958), la cual rechazaba, de cierta forma, teorías en las que Intervinieran procesos mentales e ideas Imprecisas. Watson (1997b), quien inauguró esta corriente psicológica y se fundó en las ideas de Pavlov y Thorndike, defiende el empleo de procedimientos estrictamente experimentales para estudiar el comportamiento observable —la conducta—, considerando el entorno como un conjunto de *estímulos-respuestas*. La influencia inicial del conductismo en la psicología fue minimizar el estudio Introspectivo de los procesos mentales, las emociones y los sentimientos, sustituyéndolos por el estudio objetivo de los comportamientos de los individuos en relación con el medio, mediante métodos experimentales. Los psicólogos conductistas han generado una cantidad Inmensa de Investigaciones básicas dirigidas a comprender cómo se crean y se mantienen las diferentes formas de comportamiento.[5]

El enfoque *sistemas que actúan como humanos* se asocia también frecuente e inevitablemente a la *Prueba de Turing*. Por medio de la prueba, descrita en el artículo *Computing Machinery and Intelligence*, Alan Turing (1950) intentaba ofrecer una definición operativa de lo que es la inteligencia, a la que definió como *la capacidad de lograr eficiencia a nivel humano en todas las actividades de tipo cognoscitivo, suficiente para engañar a un evaluador*. La prueba consistía en que un humano, ubicado en una habitación, debía Interrogar a una computadora —localizada en otra habitación— por medio de un teletipo. Turing señalaba que si una máquina podía engañar a un evaluador, de tal forma que éste no supiera si interactuaba con una máquina o con un humano, entonces la prueba se debería considerar superada. Turing (1950), anticipándose a las críticas que seguramente iba a generar su artículo, escribió: *I do not wish to give the impression that I think there is no mystery about consciousness. There is, for instance, something of a paradox connected with any attempt to localize it. But I do not think these mysteries necessarily need to be solved before we can answer the question with which we are concerned in this paper*.

Una refutación a la *Prueba de Turing* fue propuesta más tarde por el filósofo John Searle (1980), con el propósito de demostrar que una máquina nunca puede ser considerada o descrita como una *mente* o como una *real entendedora*. El experimento mental conocido con el nombre de *La Sala China* consiste en que una computadora ubicada en una habitación aislada debe interactuar con un observador externo. La máquina no sabe chino, pero con la ayuda de un software puede consultar manuales y las reglas que relacionan los caracteres chinos. El objetivo del experimento consiste en responder los textos recibidos, manipulando los símbolos, de tal forma de hacerle creer al observador externo, que entiende el lenguaje chino. Searle dice que suponiendo que la computadora realiza las tareas en forma concluyente, entonces pasaría fácilmente la *Prueba de Turing* ya que convencería al humano con el que interactúa de que sabe chino. Searle luego se pregunta qué pasaría si en lugar de la computadora se encontraría él —John Searle—, que no sabe nada de chino, en esa misma habitación, rodeado de manuales y diccionarios del idioma descrito. El objetivo nuevamente sería engañar al observador, de tal forma que éste pensara que sabe chino. Searle dice que dado que la computadora pasaría la Prueba de Turing, es fácil inferir que el individuo que se encuentra en la habitación, él en este caso, también la podría superar cómodamente. Cabría preguntarse entonces: a) ¿cómo puede Searle responder a las preguntas si no sabe chino?; b) ¿acaso los manuales y diccionarios son los que saben chino?; y c) ¿se puede considerar que todo el sistema —el individuo, el software, los manuales y el diccionario— es el que sabe chino?

Searle sugiere que los defensores de la inteligencia artificial fuerte**[6]** deben admitir que: a) es el sistema el que sabe chino o b) superar la *Prueba de Turing* no es condición suficiente de Inteligencia. Por otra parte, para Searle ninguno de los componentes, Incluido el sistema, comprende el idioma chino aunque supere la *Prueba de Turing*, y agrega: existe una gran diferencia entre *simular una mente* y *tener realmente una mente. Sin comprensión, lo que los filósofos llaman intencionalidad, no se puede aceptar que lo que la máquina realiza es pensar, y si no puede pensar entonces no se puede considerar como una mente, independientemente de lo que muestre su comportamiento*. Los argumentos filosóficos de Searle (1990), sus axiomas, son los siguientes:

Los programas son formales (sintácticos). Un programa usa sintaxis para manipular símbolos —sabe dónde van y cómo ubicarlos— y no presta atención a la semántica de los símbolos —no sabe lo que los símbolos significan—. Para el programa, los símbolos son solamente objetos físicos.

Las mentes tienen contenido mental (semántica). A diferencia de los símbolos que utilizan los programas, nuestros pensamientos tienen significado: representan cosas y sabemos lo que representan.

La sintaxis, por sí misma, no es un constitutivo ni es suficiente para la semántica. Esto es lo que pretende demostrar el experimento de *La Sala China*. Tiene sintaxis —se pueden manipular los símbolos—, pero no tiene semántica —según Searle nadie

en la habitación comprende el significado de los símbolos—. Este axioma lleva directamente a la siguiente conclusión: *los programas no son ni constitutivos ni suficientes para las mentes*. Los programas no tienen semántica. Los programas sólo tienen sintaxis y la sintaxis es insuficiente para la semántica. Toda mente debe tener semántica. Los programas, por lo tanto, no son ni pueden representar una mente.

El último axioma intenta demostrar que la Inteligencia artificial nunca podrá producir una máquina con mente, escribiendo solamente programas que manipulen símbolos. Searle, de todas formas, no excluye que una máquina se comporte incluso mejor que un humano, simplemente señala que tal máquina no tendrá una *mente* o *intencionalidad*, en la misma forma que el cerebro humano lo tiene.

El experimento propuesto por Searle, así como sus argumentos, aunque provocaron asimismo una dura reacción tanto de los investigadores de inteligencia artificial como de psicólogos y filósofos, se convirtió prácticamente en un clásico de la ciencia cognitiva. Nils Nilsson (1984) menciona que sí *un programa se comporta como que multiplica muy bien, la mayoría de nosotros diría, en realidad multiplica bien. Searle en cambio* se *comportaría como si estuviera pensando profundamente sobre el tema*. Russell y Norvig (2003), en la misma línea que Nilsson, señalan que los investigadores de IA no están en realidad preocupados por la hipótesis de la inteligencia artificial fuerte o si las máquinas simulan inteligencia o tienen real inteligencia. En los últimos años, por ejemplo, se han desarrollado programas que han superado al campeón mundial de ajedrez o con los que uno puede conversar en lenguaje natural. Nuestra experiencia indica que jugar ajedrez y sostener una conversación implican tanto comprensión como inteligencia. Dado que estos programas juegan excelentemente bien al ajedrez y sostienen una correcta conversación, ¿cómo habría que calificarlos?[7] La respuesta, indudablemente, originaría una nueva rueda de argumentos y réplicas, pero seguramente carecería nuevamente de interés para la mayoría de los investigadores de inteligencia artificial.

El enfoque de *sistemas que actúan como humanos*, independientemente de los diferentes experimentos, posiciones y réplicas, fue el que prácticamente dominó los últimos años del siglo anterior. Aunque se pudiera considerar más flexible que los enfoques anteriores, presenta, sin embargo, algunas debilidades. Por ejemplo, el que aprende o actúa sobre la base de la observación en determinado momento podría encontrarse ante una situación, en la que el estímulo para la respuesta correcta nunca sucede. Una máquina, por ejemplo, que se ha programado para ciertas actividades específicas, se podría detener en un determinado momento si se encuentra ante una situación nueva o anormal, en la que no conoce la respuesta por no comprender el sistema.

Una definición de *inteligencia artificial* bajo este enfoque es la siguiente: *El arte de crear máquinas con la capacidad para ejecutar funciones que realizadas por humanos requieren de inteligencia* (Kurzweil, 1992).

3.4 SISTEMAS QUE ACTÚAN RACIONALMENTE

El último enfoque es el del agente racional: *sistemas que actúan racionalmente*. Este es el enfoque que siguen actualmente la mayoría de los investigadores de inteligencia artificial. La acción de *actuar*, indudablemente, impone muchas menos restricciones que la acción de *pensar*. Actuar es un efecto, es observable, implica una conducta, un comportamiento consciente o inconsciente, voluntario o involuntario, un conjunto de respuestas motoras frente a estímulos internos y/o externos. La conducta se puede simular. *Un robot, en la actualidad, actúa en todo caso como humano, no piensa como humano*. Pensar es diferente.

Es la actividad esencial de la mente. Es todo lo que la mente puede generar, incluyendo las actividades racionales del intelecto o las abstracciones de la Imaginación. Es un concepto mucho más rico y más estimulante que el concepto de actuar, pero impone límites, es difícil de simular, y menos sin engaños. No sabemos exactamente cómo pensamos los humanos. Implica una retrospección. Hacer un viaje hacia el interior de nuestra mente, atrapar nuestros propios pensamientos, exteriorizarlos, y al verlos objetivizados, poderlos formalizar.

Por otra parte, la *racionalidad* es una capacidad humana que implica realizar lo *correcto* de acuerdo con los principios de *consistencia* y *optimidad*. En Inteligencia artificial, un agente racional es aquel que siempre puede seleccionar la acción que maximiza el desempeño, dado el conocimiento que se tiene. De todas formas, el concepto es subjetivo en cierta medida porque, ¿quién define lo que es correcto?, ¿quién define lo que es óptimo?, ¿cómo se sabe si se cuenta con el máximo nivel de conocimiento sobre la acción que se va a realizar? Además, cualquier proceso de evaluación o análisis puede ser considerado racional sólo si es objetivo, lógico y mecánico, y libre de emociones personales, instintos, normas y códigos morales, factores culturales, etc. Considerando estos aspectos, es Indudablemente muy difícil para un ser humano satisfacer todos estos requerimientos, se necesitaría de un proceso de inmunidad para emociones, instintos o factores culturales. Por otra parte y como atenuante, es importante observar que no se habla de racionalidad perfecta —siempre hacer lo correcto—, y menos de omnisciencia —conocer el resultado seguro que producirán nuestras acciones—.

Finalmente, de acuerdo con el enfoque de *sistemas que actúan racionalmente*, se considera a la Inteligencia artificial como el estudio y la construcción de agentes racionales. Una definición con este punto de vista fue propuesta por Luger (2009): *La rama de la ciencia de la computación que se ocupa de la automatización de la conducta inteligente*.

3.5 LOS AVANCES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL NO SE DISCUTEN

Los productos desarrollados simplemente en la última década con tecnología de Inteligencia artificial, independientemente de los diferentes enfoques, son muchísimos, sorprendentes y trascendentes. Centros de lavado, cámaras fotográficas, videocaseteras, automóviles Inteligentes, controladores aéreos, aviones autónomos *UAV* (Vehículo aéreo no tripulado) y *UCAV* (Vehículo aéreo de combate no tripulado), robots espaciales, programas de juego, traductores automáticos de diferentes Idiomas, sistemas expertos en medicina, finanzas y seguros, software para interpretación de imágenes, *chips* detectores de petróleo, son simplemente algunos de los tantos productos que utilizan tecnología de inteligencia artificial. Por otra parte, todos los correos electrónicos y las llamadas de los teléfonos celulares son enrutadas utilizando métodos de búsqueda, las turbinas de los aviones se diseñan empleando algoritmos genéticos, los sistemas de inyección de combustible de los automóviles usan algoritmos de aprendizaje. Basta mencionar los productos de la industria textil desarrollados con tecnología de inteligencia artificial, presentados en Barcelona a fines del año 2003, para comprender lo vasto del área: telas antiviolencia que soportan disparos o navajazos, telas con protección solar integrada, telas que cambian de color en función de la luz, telas que cambian de temperatura en función del clima, chalecos con bolsas de aire para motociclistas, camisas que pueden abrir y cerrar puertas, telas que permiten detectar alteraciones del cuerpo a partir del análisis del sudor, etcétera.

Es probable que algunos individuos no puedan observar la relación entre el producto desarrollado y la inteligencia artificial. Esto es completamente natural porque, en general, los productos no hacen alusión a la tecnología que tienen incorporada o con la que fueron desarrollados, a menos que sea por una cuestión de mercadotecnia. Por ejemplo, los pañales desechables, las toallas femeninas y los alimentos deshidratados son tecnología espacial, derivada de los viajes espaciales. Estos productos, sin embargo, en ningún momento hacen referencia a los viajes al espacio.

Capítulo 4
LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL ES OBJETO DE POLÉMICA

Los resultados alcanzados por una disciplina joven como la inteligencia artificial en sólo cincuenta años son evidentes y sorprendentes. Sin embargo, debido probablemente también a estos avances rápidos, la IA ha ido adquiriendo, de alguna forma, una reputación un tanto sombría (Minsky, 1990). Minsky señala que cada vez que se hizo un nuevo y útil descubrimiento, la investigación y/o el producto usualmente se desarrolló bajo un nuevo campo científico o producto comercial. Así surgieron en los últimos años campos como: robótica, lingüística computacional, visión artificial, reconocimiento de patrones, ingeniería del conocimiento, traducción automática, minería de datos, descubrimiento en base de datos, etc. Esto explica, en cierta medida, por qué se observan tan pocos avances en la disciplina central y tantos en los campos derivados de la inteligencia artificial.

4.1 LAS CRÍTICAS

Todos sabemos que hubo filósofos antes que computadoras, y que éstos intentaron resolver muchos de los problemas de los cuales tanto los Investigadores de IA como de las ciencias cognitivas y neurociencias, afirman ser su objeto de estudio (Russell y Norvig, 2003): *¿cómo funciona el cerebro humano?, ¿es posible que los seres no humanos tengan intelecto?* Estos cuestionamientos han originado innumerables y acalorados debates, principalmente entre filósofos —no los analíticos— y hombres de ciencia en general. Dreyfus, profesor de filosofía de la Universidad de California en Berkeley, experto en existenclalismo y fenomenología, y autor del libro *What Computers Still Can 't Do* (Dreyfus, 1992) abiertamente ha señalado que: excepto *para unos cuantos empecinados es para todos evidente que la empresa de crear Inteligencia ha fracasado*. Dreyfus sostiene que el pensamiento, la inteligencia y la razón no pueden ser reducidos a una computadora. Los trabajos en simulación

cognitiva e inteligencia artificial se basan en la presunción de que los humanos procesan información de alguna forma que las computadoras pueden emular. Dreyfus señala que ésta no es una presunción menor, dado que la información generada por las máquinas es explícita, discreta, lineal, basada en reglas y definitiva, mientras que no existen evidencias de que los humanos piensen de esta forma. Además, la presunción de que la mente humana funciona como una máquina manipuladora de símbolos de propósito general es equivalente a (Dreyfus, 1992):

1. Presunción biológica: la mente en cierto nivel opera en forma digital.

2. Presunción psicológica: todo el pensamiento es derivado de cálculos.

3. Presunción epistemológica: todo el conocimiento puede ser formalizado.

4. Presunción ontológica: nuestro mundo consiste de hechos y realidades libres de contexto.

Dreyfus argumenta que sería muy conveniente si estas presunciones fueran verdad; sin embargo, existe muy poca evidencia que soporte a ellas y mucho que refutar.

Sayre (1993), por otra parte, mencionó que *la inteligencia artificial no tiene la más remota posibilidad de producir resultados verdaderos*. John Searle, asimismo, en una entrevista en CNN en el año 2002, manifestó: …*Yo no tengo objeciones con la tecnología de inteligencia artificial. En lo que estoy en desacuerdo es cuando alguien menciona que ha creado una máquina que piensa o una máquina consciente*. Joseph Weizenbaum (1976), quien construyó *ELIZA*, un programa interactivo que puede sostener un diálogo en inglés entre un paciente y un psicoterapeuta, manifestó que en algunos casos puede ser hasta *inmoral* asumir que las computadoras serán capaces de pensar como humanos o tendrán la responsabilidad de hacer elecciones humanas: *no other organism, and certainly no computer, can be made to confront genuine human problems in human terms*. Roger Penrose (1989), por otra parte, sugiere que ninguna máquina de computación podrá ser inteligente como un ser humano, ya que los sistemas formales algorítmicos nunca les otorgarán la capacidad de *comprender* y *encontrar verdades* que los seres humanos poseen. Finalmente, Paul Churchland y Patricia Churchland señalan que las máquinas podrán pensar, pero en una forma diferente a los humanos (Churchland y Churchland, 1990).

¿Pero qué es lo que se cuestiona en realidad? No parece que se discutan los productos desarrollados con tecnología de inteligencia artificial. Nadie argumenta contra los robots *Spirit* y *Opportunity* que recorren *Marte*, ni contra los controladores aéreos inteligentes de los aeropuertos más importantes del mundo, ni tampoco contra el jumbo 747-400 que puede realizar las maniobras de despeje y aterrizaje en forma autónoma. El origen de la polémica parece estar en el *significado* de la palabra

inteligencia, si se puede o no crear inteligencia en máquinas, si las máquinas pueden o podrán pensar, si actuar implica inteligencia, si en el futuro tendremos hombres artificiales. Además, el significado e interpretación de las palabras indudablemente ha incrementado la polémica.

4.2 SOBRE EL SIGNIFICADO DE LAS PALABRAS

Analicemos, por ejemplo, estas dos preguntas formuladas por Russell y Norvig (2003):

¿Son capaces de volar las máquinas?

¿Son capaces de nadar las máquinas?

Si a los lectores se les aplicara la primera pregunta, seguramente se llegaría rápidamente a un consenso. Los individuos contestarían que *las máquinas pueden volar*. Los aviones, los aeroplanos, los helicópteros vuelan. En cambio, si el mismo auditorio fuera consultado con la segunda pregunta, también se llegaría seguramente a un consenso. Los individuos, en este caso, responderían que *las máquinas no pueden nadar*. Los barcos, las lanchas, los submarinos se desplazan en el agua de alguna forma, pero no con la acción que nosotros los humanos asociamos a la actividad de nadar. Es importante observar, sin embargo, que estas respuestas opuestas se obtienen por la interpretación y significado que le damos a las palabras *volar*[1] y *nadar* [2],respectivamente. En general, prácticamente cualquier cosa que se desplaza por el espacio decimos que vuela. Nadar, en cambio, lo asociamos con desplazamientos en el agua, con las extremidades del cuerpo y sin tocar el piso. La acción de nadar, indiscutiblemente, tiene más restricciones que la acción de volar.

Por otra parte, es muy importante considerar en este análisis que ni las preguntas ni las respuestas tienen alguna relevancia en la vida de los ingenieros aeronáuticos y navales, quienes se dedican al diseño y construcción de máquinas cada vez más seguras, más eficientes y más veloces. Es difícil que un ingeniero naval se pregunte si los barcos nadan o que un ingeniero aeronáutico se pregunte si los aviones vuelan. Lo mismo ocurre con los investigadores de inteligencia artificial. Los investigadores de la NASA, por ejemplo, que enviaron los robots geológicos a *Marte*, difícilmente se pregunten en algún momento si éstos piensan o no, si éstos son inteligentes o no. Edsger Dijkstra, el padre de la programación estructurada, escribió: *la pregunta sobre si una computadora puede pensar no es más interesante que la pregunta sobre si un submarino puede nadar*. Russell y Norvig (2003) señalan acertadamente que *la posibilidad de la existencia de máquinas pensantes ha estado presente entre nosotros unos cuarenta años, no lo suficiente como para que los hombres se pongan de acuerdo sobre el sentido y significado de la palabra pensar*. ¿Qué significa además

pensar? ¿Es sustancia, es lógica, o es, acaso, silencio, silencio capaz de sentido? ¿0 el pensar es lo que recorre el lenguaje como la sangre a las venas? (Treboux, 2002).

Es indudable que mientras no se encuentren respuestas a todas estas interrogantes o se precisen correctamente los significados de los términos *inteligencia* y *pensamiento*, la misma naturaleza de la filosofía propiciará que este debate se prolongue irresoluble por varios años.

H2. El cerebro —máquina biológica— es como un tipo de computadora —máquina artificial—, del mismo modo que una computadora es como un tipo de cerebro. Ambas con arquitecturas radicalmente diferentes. El poder causal —pensamiento, razonamiento, comportamiento, etc— generado por estas máquinas, seguramente será similar, con el transcurso del tiempo y los avances en ciencia y tecnología. Sin embargo, la forma de obtener este poder causal, será completamente distinta[3]*. ¿Podrá una máquina pensar? La respuesta seguramente es afirmativa. Las máquinas podrán pensar, pero no en la forma que ahora los humanos le asociamos al concepto de pensar.*

Capítulo 5
INTELIGENCIA: ¿QUÉ SIGNIFICA?

Ningún otro concepto en psicología ha provocado tan intensas controversias públicas que el estudio de la inteligencia humana (Gottfredson, 1998).

La mayoría de los hombres de ciencia coinciden en que el concepto de inteligencia cubre muchos aspectos de las habilidades mentales, así como la eficiencia con la que éstas se realizan. Sin embargo, cuando se les pidió a dos docenas de destacados expertos que definieran el concepto, en lugar de obtener expresiones similares como se esperaba en principio, se obtuvieron dos docenas de declaraciones diferentes (Sternberg y Detterman, 1986). Estos desacuerdos, como Neisser señala, no deben desanimarnos, porque en raras ocasiones las investigaciones científicas comienzan con acuerdos sobre los significados de los conceptos (Neisser et al.; 1996).

En el otoño de 1994, la publicación del libro *The Bell Curve*, del psicólogo Richard Hermstein y del científico político Charles Murray (Hermstein y Murray, 1994), desencadenó una nueva ronda de debates acerca de la *naturaleza* de la inteligencia, los resultados de los exámenes que se realizan para medir el coeficiente intelectual, y las diferencias raciales en la inteligencia. El debate se caracterizó por aseveraciones y sentimientos muy fuertes. Aunque algunos puntos parecen estar resueltos, otros son muy complejos y distan mucho de encontrar una solución. Ante la complejidad del debate que se había presentado, la *Asociación Americana de Psicología* encargó un estudio para esclarecer algunos puntos y abrir una discusión sería del tema. El estudio conducido por Ulric Neisser y un grupo de colaboradores se publicó en 1996 con el nombre de *Intelligence: Knowns and Unkowns* (Neisser et al.; 1996). En el informe se consideran las concepciones científicas de la inteligencia, así como las aproximaciones de estudio más Importantes. Entre las conclusiones se destaca que la aproximación psicométrica ha sido la más influyente y la que ha

generado la investigación más sistemática. Asimismo, se destaca que la aproximación biológica también ha contribuido a obtener una mayor comprensión del tema. El estudio comienza tratando el concepto de *inteligencia* de la siguiente forma: Los *individuos difieren en su aptitud para comprender ideas complejas, para adaptarse con eficacia al ambiente, para aprender de la experiencia, para razonar, para superar obstáculos. Aunque estas diferencias individuales pueden ser sustanciales, nunca son totalmente consistentes: el rendimiento intelectual de una determinada persona puede variar en diferentes ocasiones, en distintos dominios, y según qué criterios se valoren. Los conceptos de inteligencia son intentos de clarificar y organizar esta compleja serie de fenómenos. Aunque se ha logrado una considerable claridad en algunas áreas, ninguna de las conceptualizaciones ha respondido todas las preguntas importantes y ninguna de ellas recibe el apoyo universal* (Neisser et al.; 1996).

El 13 de diciembre de 1994, en respuesta también al controversial libro *The Bell Curve*, la psicóloga Linda Gottfredson publicó en el periódico *Wall Street Journal*, una lista de las 25 frases que mejor describían el concepto de Inteligencia. La primer frase que reunía el consenso de 51 Investigadores decía: *inteligencia es una capacidad mental general que, entre otras cosas, Involucra la capacidad para razonar, planear, resolver problemas, pensar abstractamente, comprender ideas complejas, aprender rápidamente y de la experiencia. La inteligencia refleja además una amplia y profunda capacidad para comprender y entender nuestro entorno* (Gottfredson, 1994).

Otros grandes pensadores, en los campos de la psicología y el aprendizaje, también han contribuido a definir este concepto en formas diferentes a lo largo del tiempo. El psicólogo francés Alfred Binet (Binet y Simón, 1916), por ejemplo, definió la inteligencia como una facultad fundamental: *el juicio. Esta facultad es el juicio, a veces llamado sentido común, sentido práctico, iniciativa, la facultad de poder adaptarse a ciertas circunstancias. Una persona puede ser un idiota o un imbécil, pero con un buen juicio nunca será calificado de esta forma. El resto de las facultades intelectuales siempre serán de menor importancia en comparación con el juicio*. Wechsler (1939), por otra parte, señala que la inteligencia es *la capacidad global del individuo para actuar decididamente, pensar racionalmente y guiarse en forma efectiva en su medio ambiente*. Plaget (1999), en cambio, señala que *la Inteligencia no es más que un término genérico que designa las formas superiores de organización o de equilibrio de las estructuras cognoscitivas*. Marvin Minsky (1990) considera que es *solamente una palabra que la gente utiliza para nombrar procesos desconocidos que realiza el cerebro para resolver problemas*. Hermstein y Murray la definen como *habilidad cognitiva*. Gardner define la Inteligencia como *la habilidad para resolver problemas que tienen valoren al menos una cultura*.

El *poder del pensamiento*, el *poder de la inteligencia humana* ha sido valorado y reconocido por el hombre desde la antigüedad. Es natural ahora que surge una

disciplina como la inteligencia artificial, que argumenta tener los medios para llevar la inteligencia a la máquina, que se genere tanta polémica. Ian Deary (2001), uno de los investigadores más reconocidos en el área de *inteligencia,* señala que desafortunadamente aún no existe una *teoría de la inteligencia humana*. No sabemos suficiente sobre el funcionamiento del cerebro como para decir por qué algunos cerebros parecen más eficientes que otros. En realidad ni siquiera se puede precisar aún si se debe hablar de *inteligencia, inteligencias o inteligencias múltiples*.

Las teorías más Importantes que se han desarrollado en los últimos años acerca de la inteligencia humana son la *teoría de las inteligencias múltiples,* la *teoría triárquica de Sternberg* y la *teoría de la inteligencia emocional*. Es Importante observar que las tres se apartan en cierta forma del enfoque psicométrico y adoptan un punto de vista más cognitivo. Los métodos psicométricos, por otra parte, se analizarán en el siguiente capítulo.

5.1 TEORÍA DE LAS INTELIGENCIAS MÚLTIPLES

Howard Gardner, psicólogo americano, profesor de la Universidad de Harvard y de la Universidad de Boston, en su *teoría de las inteligencias múltiples,* presenta una visión pluralista de la mente, reconoce muchas facetas distintas de la cognición, tiene en cuenta diferentes potenciales y contrasta también diversos estilos cognitivos. Gardner sugiere que cada individuo manifiesta diferentes niveles de inteligencia y posee un único perfil cognoscitivo. Aunque no utiliza métodos tradicionales psicométricos para ilustrar las diferencias entre los distintos tipos de inteligencia, presenta un análisis más bien impresionista basado en la convergencia de signos proporcionado por las ocho líneas de evidencia. Gardner (2005) señala que los ocho tipos de inteligencia rara vez trabajan de manera independiente. En general trabajan juntos y tienden a complementarse para desarrollar habilidades, resolver problemas, y para alcanzar diversos fines culturales: vocaciones, aficiones y similares.

Los dos primeros tipos de inteligencia humana propuestos por Gardner, *lingüística* y *lógico-matemática,* se relacionan con las habilidades evaluadas generalmente en las escuelas. Los siguientes tres tipos, *espacial, musical,* y *corporal y cinética,* se asocian con las capacidades que se pueden observar usualmente en las artes. Los dos posteriores, *intrapersonal e interpersonal*, se conectan con la inteligencia personal. Finalmente, el último tipo, *naturalista,* se encuentra relacionado con la naturaleza y el medio ambiente. A continuación se presenta una breve descripción de los ocho tipos de inteligencia sugeridos por Gardner:

1. *Inteligencia lingüística*. Este tipo de inteligencia representa la capacidad sensitiva en el lenguaje tanto hablado como escrito, la habilidad para aprender idiomas, comunicar ideas y lograr metas usando la capacidad lingüística. También la habilidad de usar efectivamente el lenguaje para poder expresarse en forma retórica

o poética. Es un tipo de inteligencia que manifiestan principalmente los escritores, filósofos, profesores, etcétera.

2. *Inteligencia lógico-matemática*. Este tipo de inteligencia simboliza las habilidades asociadas a la lógica y a las matemáticas. Se corresponde con el modo de pensamiento del hemisferio lógico y con lo que la cultura occidental ha considerado siempre como la única inteligencia. Es el tipo de inteligencia que exhiben los científicos, matemáticos, ingenieros, economistas, etcétera.

3. *Inteligencia espacial*. La inteligencia espacial caracteriza la capacidad para formarse un modelo mental de un mundo espacial, y para maniobrar y operar usando este modelo. Es el tipo de inteligencia que muestran los ingenieros, arquitectos, artistas, etc.

4. *Inteligencia musical*. Este tipo de inteligencia representa la habilidad para expresarse utilizando formas musicales. La capacidad musical incluye habilidades en el canto dentro de cualquier tecnicismo y género musical, para: ejecutar un instrumento a la perfección, dirigir un conjunto, ensamble u orquesta, componer en cualquier modo y género, y la apreciación musical. La inteligencia musical se relaciona también con la inteligencia lingüística, con la inteligencia espacial y con la inteligencia corporal cinética. Es el tipo de inteligencia que tienen los músicos, cantantes, directores de orquesta, compositores, etcétera.

5. *Inteligencia corporal y cinética*. Este tipo de inteligencia se relaciona con la capacidad para resolver problemas o para elaborar productos empleando el cuerpo o parte del mismo. Es un tipo de inteligencia del que gozan los atletas, bailarines, actores, artesanos, cirujanos, etcétera.

6. *Inteligencia interpersonal*. La inteligencia interpersonal representa la capacidad para entender a otras personas. Esta capacidad se desarrolla trabajando en equipo, y disfrutando debates y discusiones. Es un tipo de inteligencia que manifiestan los políticos, profesores, trabajadores sociales, diplomáticos, etc. Gardner señala que Mahatma Gandhi y Lyndon Johnson fueron extraordinarios en el dominio de la inteligencia interpersonal. En contraparte, indica que los niños autistas, síndrome de Kanner y síndrome de Williams, se ven severamente afectados en su habilidad para comprender a otros individuos y manejarse en un *mundo social*. Señala además que los individuos con el *síndrome de Down* y la enfermedad de *Alzheimer* sufren severos trastornos

cognitivos, pero no pierden la habilidad para relacionarse con otros individuos.

7. *Inteligencia intrapersonal*. Este tipo de inteligencia simboliza la capacidad de formarse un modelo ajustado, verídico, de uno mismo, y de ser capaz de usar este modelo para desenvolverse eficazmente en la vida. Es el tipo de inteligencia que expresan generalmente los filósofos, sicólogos, teólogos, científicos, etc. Gardner señala que Sigmund Freud y Marcel Proust fueron prodigiosos en el dominio de la inteligencia intrapersonal.

8. *Inteligencia naturalista*. Este tipo de inteligencia se presenta cuando se observa y estudia la naturaleza, con el motivo de saber organizar, clasificar y ordenar los seres vivos. Es el tipo de inteligencia que tienen los científicos, naturalistas, conservacionistas, agricultores, etcétera.

Kornhaber (2001), un investigador involucrado en el *Proyecto Zero*, identificó un número de razones por las que los psicólogos, profesores y hacedores de políticas en los Estados Unidos han respondido positivamente a la teoría de Gardner. Kornhaber señala, por ejemplo, que la teoría valida el pensamiento y la experiencia de los profesores con los estudiantes y de ahí su rápida aceptación: *los estudiantes piensan y aprenden de diferentes formas*. También indica que la teoría proporciona a los educadores un marco conceptual adecuado para poder reflexionar sobre la curricula y prácticas pedagógicas. Cabe mencionar además que en los últimos años, un número considerable de escuelas ha implementado en los Estados Unidos la *teoría de las inteligencias múltiples*. El colegio *New City School*, localizado en San Louis, Missouri, ha utilizado la teoría desde 1988. El director del colegio, Thomas Hoerr, ha escrito incluso un libro titulado *Becoming a Múltiple Intelligences School* (Hoerr, 2000) para referirse a las experiencias positivas obtenidas en los salones de clase.

No obstante los halagos arriba mencionados, la propuesta de Gardner ha sido también objeto de numerosas críticas. Una opinión generalizada es que la teoría deriva más fuertemente de las intuiciones y razonamientos de Gardner, que de la investigación empírica. Los críticos enfatizan además en que los tipos propuestos de inteligencia no son más que otros nombres utilizados para describir talentos y/o diferentes personalidades. Mientras que Gardner utiliza continuamente la palabra *inteligencia*, la mayoría de los individuos emplean la palabra *habilidad* para referirse a esos conceptos. Esta práctica de Gardner ha sido muy criticada por Sternberg (1991) y Eysenck (1994). Otro de los argumentos utilizado en contra de la teoría es el *relativismo intelectual*. Los estudiantes que fallan en los exámenes pueden ser vistos ahora como individuos con otro tipo de inteligencia, no necesariamente con menos conocimiento, estudio o una inteligencia menor que sus compañeros. Gardner se ha defendido de esta crítica argumentando que los individuos no son igualmente

talentosos, pero que las definiciones tradicionales de inteligencia no consideraban otros tipos de inteligencia. La teoría de Gardner también permite inferir que un individuo puede ser bueno en un tipo de inteligencia, pero no en los otros. Sin embargo, la mayoría de los exámenes de habilidades mentales muestran exactamente lo contrario: *las diferentes áreas de evaluación están perfectamente correlacionadas*. Carroll (1993) sostiene que la comprensión verbal, la capacidad auditiva, la percepción visual y las habilidades lógico-matemáticas se correlacionan mutuamente. La afirmación de Carroll da motivos para pensar en un solo tipo de inteligencia. Gardner (2004) se ha defendido sobre este punto argumentando que los psicólogos tradicionales necesitan de exámenes psicométricos u otra evidencia experimental para poder aceptar que existen diferentes tipos de inteligencia, y que algunos de los tipos de inteligencia no se pueden medir necesariamente con exámenes psicométricos. Finalmente, los neurocientíficos cognitivos (Waterhouse, 2006) argumentan que es *difícil suponer que los diferentes tipos de inteligencia puedan operar con diferentes mecanismos neuronales*.

5.2 TEORÍA TRIÁRQUICA DE STERNBERG

Robert Sternberg, un investigador americano en el campo de la psicología y autor de la *teoría triárquica*, sugiere que el comportamiento inteligente surge del balance entre tres habilidades fundamentales: *analítica*, *creativa* y *práctica* (Sternberg, 1985). La habilidad analítica es lo que le permite al individuo evaluar, analizar, comparar y contrastar información. La habilidad creativa es la encargada de la invención y el descubrimiento. Finalmente, la habilidad práctica es la que le permite al individuo aplicar todo lo que ha aprendido de una manera adecuada. Para ser exitoso en la vida, un individuo debe hacer uso de las fortalezas de estas tres habilidades, mientras, al mismo tiempo, debe corregir o compensar cualquier debilidad en alguna de estas áreas. Una característica fundamental de la *teoría triárquica* es la adaptabilidad —encontrar la mejor combinación de las tres habilidades— tanto dentro del individuo como dentro del contexto sociocultural en que se encuentra inmerso (Ciándolo y Sternberg, 2004).

En la *habilidad analítica*, Sternberg asocia el trabajo de la mente con una serie de componentes: *metacomponentes*, *componentes de desempeño* y *componentes para la adquisición del conocimiento*. Los metacomponentes, también conocidos *con* el nombre de *homúnculus*, son procesos utilizados en la resolución de problemas y en la toma de decisiones. Son los responsables de decirle a la mente *cómo actuar*, en definitiva los que deben controlar nuestras acciones. Los componentes de desempeño son los procesos que llevan a cabo las acciones que dictan los metacomponentes. Los componentes para la adquisición del conocimiento se emplean para adquirir nueva información. Sternberg (1997) señala que los individuos talentosos son verdaderos

expertos en utilizar este tipo de componentes para obtener nueva información a una velocidad asombrosa.

La *habilidad creativa*, por otra parte, es la responsable de relacionar el desempeño del Individuo cuando realiza una tarea, considerando la familiaridad que tiene de la misma. En esta habilidad se distingue entre la *innovación* y la *automatización*. La innovación se presenta cuando el individuo nunca ha realizado anteriormente la tarea y requiere tanto de nuevo pensamiento como de nuevo razonamiento para efectuar la misma. La automatización, por otra parte, sucede cuando el individuo ha realizado la tarea en múltiples ocasiones y por esta razón, no requiere de mayor pensamiento para efectuar la misma. Sternberg señala que los individuos con esta capacidad —creativa— no obtienen una alta calificación en los exámenes de habilidades mentales, porque este tipo de exámenes no mide precisamente este tipo de atributos.

Finalmente, la *habilidad práctica* refiere a la actividad mental involucrada en ajustarse o adaptarse al contexto. Sternberg distingue tres procesos fundamentales: *adaptación, ajuste* y *selección*. A través de estos procesos el individuo crea una imagen perfecta entre él mismo y el medio ambiente. La *adaptación* ocurre cuando un individuo realiza un cambio en sí mismo para adecuarse al entorno. Por ejemplo, el tiempo cambia, la temperatura desciende abruptamente y hay que abrigarse. El *ajuste* se presenta cuando el individuo se cambia o desplaza a otro entorno y hay que adecuarse al mismo. Por último, la *selección se* presenta cuando aparecen nuevas alternativas que permiten modificar o reemplazar las existentes. La efectividad con que un individuo se ajusta al medio ambiente y lidia día a día con el mismo, refleja su grado de inteligencia.

Es importante observar que la *teoría triárquica* tampoco ha estado exenta de críticas. Los oponentes han señalado que:

a. Se ha mostrado mucho más evidencia a favor de un *factor de inteligencia general g* que a favor de la *teoría triárquica*.

b. La inteligencia práctica no es más que conocimiento de campo, personalidad o algo diferente a inteligencia.

c. Sternberg sugiere que existe una clara división entre la inteligencia con fines académicos y la inteligencia con fines prácticos, pero no ha presentado evidencias convincentes sobre el tema.

d. La teoría no reconoce la importancia de los factores genéticos en la inteligencia.

e. La propuesta de Sternberg conduce a pensar que la inteligencia es relativa y no científica.

f. Creer en la teoría de Sternberg disminuye, de alguna forma, las contribuciones de los teóricos psicométricos.

Como se puede observar, los cuestionamientos han sido muchos, en especial los de Linda Gottfredson (2003) referidos a la *inteligencia práctica*. Gottfredson, profesora de *psicología educacional* y codirectora del *Delaware-Johns Hopkins Project for the Study of Intelligence and Society*, presenta una serie de argumentos que intentan desarmar cada uno de los postulados de Sternberg sobre *inteligencia práctica*. En particular destaca que el *factor g* es una de las habilidades mentales más importantes, con fuertes raíces genéticas, y que permite la distinción de los individuos en múltiples formas sociales. Sternberg, por otra parte, se ha defendido señalando que:

a. La inteligencia práctica es lo que los individuos en general reconocen como sentido común.

b. La habilidad práctica involucra generar ideas, es la habilidad que interviene cuando la inteligencia se aplica en un contexto del mundo real.

c. El conocimiento tácito refleja un factor general de inteligencia que iguala o excede al *factor g* en su generalidad y en las utilidades diarias.

d. El conocimiento tácito es uno de los elementos principales de la inteligencia práctica.

e. La inteligencia práctica es la que permite predecir el éxito de un individuo.

Sternberg también ha argumentado en su defensa que sus programas de investigación validan la *teoría triárquica* y que si bien existen algunas debilidades, éstas serán subsanadas por los avances de investigación en los próximos años, dando lugar a nuevas generaciones de mejores teorías.

5.3 TEORÍA DE LA INTELIGENCIA EMOCIONAL

Cuando los investigadores, principalmente los psicólogos, comenzaron a trabajar en la inteligencia natural, dirigieron sus esfuerzos en los aspectos cognitivos del individuo, como la memoria y la resolución de problemas. Sin embargo, con el tiempo, otros aspectos no cognitivos comenzaron a llamar poderosamente la atención. La *inteligencia emocional* describe básicamente la capacidad y/o habilidad del individuo para evaluar y manejar las emociones de sí mismo, de otros, e incluso de grupos. Es un área de investigación reciente de la psicología, que se desprende de la *inteligencia social* y que se enfoca en aspectos no cognitivos del cerebro. Las

emociones, indudablemente, aportan implicaciones significativas en las relaciones sociales, sin dejar de contribuir en otros aspectos relevantes de la vida.

Cada individuo tiene la necesidad de establecer prioridades, de mirar positivamente hacia el futuro y reparar los sentimientos negativos antes de que lo dañen y propicien la caída en la ansiedad y/o la depresión.

El precursor de la teoría sobre inteligencia emocional fue Robert Thorndike (1920), quien en 1920 utilizó el concepto de inteligencia social para referirse a la habilidad del Individuo tanto para comprender y manejar a otros, como para adaptarse a interacciones sociales. Thorndike dividía la inteligencia en tres facetas principales: a) Inteligencia abstracta, que representa la habilidad para manejar y comprender ideas; b) inteligencia mecánica, que simboliza la capacidad para entender y manejar objetos; y c) inteligencia social, que representa la pericia para comprender y dirigir a los hombres y mujeres, y actuar sabiamente en las relaciones humanas. En fechas recientes, Cantor y Kihlstrom redefinieron el concepto de inteligencia social para referirse al conocimiento fundamental del individuo acerca del mundo social (Cantor y Kihlstrom, 1987). En 1940, David Wechsler (1940) describió la Influencia de factores no inteligentes sobre el comportamiento inteligente y agregó que los modelos de Inteligencia no se podrán considerar completos hasta que incorporen factores afectivos, personales y sociales. Unos años más adelante, Wechsler (1958) definió la Inteligencia como la capacidad global del individuo para actuar decididamente, pensar racionalmente y manejarse en forma efectiva en su medioambiente. Recientemente, Howard Gardner (1983) escribió en su libro *Frames of Mind*, que las inteligencias interpersonal e intrapersonal, asociadas a la inteligencia social y emocional, son tan Importantes como los otros tipos de inteligencia, medidas tradicionalmente con exámenes de habilidades mentales. Es indudable que hasta esos años, utilizando nombres y/o conceptos diferentes, había un consenso generalizado respecto a que las definiciones tradicionales de inteligencia no explicaban otras habilidades fundamentales de los individuos, más allá de aquellas relacionadas con aprender y razonar, que se medían con los exámenes psicométricos.

En realidad el primero en utilizar el término *inteligencia emocional* fue Wayne Payne (1985) en su tesis doctoral. Sin embargo, los primeros en acuñar el término fueron Salovey y Mayer en 1990. Ellos describieron la *inteligencia emocional* como *una forma de inteligencia social que involucra la habilidad para monitorear y controlar los sentimientos* y *las emociones propias y de otros individuos, discriminar entre ellas y usar esta información para guiar tanto al pensamiento como a la acción* (Salovey y Mayer, 1990). Salovey y Mayer iniciaron además un programa de investigación para desarrollar medidas válidas sobre la inteligencia emocional y explorar su significado. El tema, inteligencia emocional, resultaba de gran interés entre la comunidad, pero no fue hasta la publicación del libro *Emotional Intelligence. Why It Can Matter More Than IQ*, de Daniel Goleman (1995), que el término se popularizó. Goleman fue el primero en ofrecer una prueba de que los factores

sociales y emocionales son extremadamente importantes. Los artículos posteriores en *Harvard Business Review* (Goleman, 1998; Goleman, 2000) atrajeron la atención de un número impresionante de lectores, tal es así que sus artículos fueron los más leídos en los 47 años de esta revista. El CEO de Johnson & Johnson, por ejemplo, después de leer los artículos, los distribuyó entre los 400 ejecutivos más importantes de la empresa. En realidad en estos escritos se vislumbra que no es precisamente el coeficiente intelectual, conocido comúnmente como *Cl* o *IQ*, el que determina el desempeño de un individuo en una empresa. La inteligencia emocional pudiera ser el factor más importante asociado al desempeño del individuo en las organizaciones. La inteligencia emocional tiene muchísimo que ver con *cuándo y cómo expresar las emociones y cómo controlara éstas* (Chernlss, 2000).

Los cuatro tipos de habilidades que se encuentran involucradas en la *inteligencia emocional* son las siguientes:

1. *Percibir emociones*. Representa la habilidad para detectar y descifrar emociones en caras, voces, imágenes fotográficas, incluida la habilidad para identificar las propias emociones. Este tipo de habilidad es fundamental porque permite el procesamiento de información emocional.

2. *Utilizar emociones*. Significa la habilidad para utilizar emociones que facilitan actividades cognitivas, como el pensamiento y la resolución de problemas. Un individuo con esta capacidad puede capitalizar completamente su cambio de humor para desempeñar mejor sus funciones en el trabajo.

3. *Comprender emociones*. Constituye la habilidad para comprender el lenguaje de las emociones y apreciar las intrincadas relaciones que se presentan entre las emociones. Un individuo con esta habilidad puede ser sensitivo a las variaciones que se exhiben entre las emociones y reconocer la forma en que evolucionan con el tiempo.

4. *Manejar emociones*. Representa la habilidad para regular las emociones en nosotros mismos y ante otros. Individuos con esta capacidad pueden incluso controlar emociones negativas y manejarlas para alcanzar las metas propuestas.

Finalmente, cabe señalar que no todas son flores para el área de inteligencia emocional. Goleman ha sido duramente criticado por asumir desde el inicio que la inteligencia emocional es un tipo de inteligencia. Eysenck (2000) sostiene que la teoría de Goleman carece de fundamentos acerca de la inteligencia general. Señala que presenta tipos de comportamiento como tipos de inteligencia y muestra las cuatro habilidades propias de la inteligencia emocional sin ninguna correlación. Eysenck

considera en definitiva que la teoría se presenta sin ninguna base científica. En forma similar, Locke (2005) establece que la inteligencia emocional es una mala interpretación de la inteligencia y ofrece una nueva interpretación de la misma. *No es un tipo de inteligencia, pero inteligencia aplicada a un dominio particular de la vida, las emociones*.

Capítulo 6

INTELIGENCIA: ¿CÓMO SE MIDE?

Un problema que ocurre con frecuencia alrededor del concepto de *inteligencia* es que tendemos a medir solamente lo que sabemos cómo medir, pero aun siendo conscientes de este hecho, y por lo tanto de sus extremadas limitaciones, establecemos, probablemente en forma equivocada, nuestros juicios sobre la base de estas medidas.

En las universidades, por ejemplo, se realizan exámenes de admisión para detectar e incorporar los mejores estudiantes, los más inteligentes, los de mayor potencial. El examen, sin embargo, requiere de cierta *cantidad de conocimientos* para que el mismo se pueda aprobar. Los mejores resultados del examen los obtendrán seguramente aquellos estudiantes que se encuentren mejor preparados en ese momento, tengan los mayores conocimientos, cuenten con el mayor interés para ingresar a la universidad, y detenten la mayor dedicación y buena voluntad para el estudio. Todas estas características son, sin duda, destacables en cualquier individuo pero no se encuentran asociadas directamente al concepto de inteligencia. Es muy difícil con este tipo de exámenes poder detectar los alumnos más capaces, los que tengan el mayor potencial. Tampoco se puede medir y por lo tanto saber cuánto estudió más un estudiante que otro para comprender un cierto tema. Un estudiante puede haber dedicado un año completo a la preparación del examen con maestros particulares y haber obtenido 1352 puntos. Otro, en cambio, puede haber asistido al examen preparándose sólo durante un mes y sin la ayuda de ningún profesor, y haber obtenido 1340 puntos. Un tercer estudiante puede haber asistido al examen sin ninguna preparación y haber obtenido 1339 puntos. ¿Cuál es el alumno que tiene el mayor potencial? ¿Cuál es el alumno que tiene la mayor capacidad de abstracción? ¿Cuál es el alumno más inteligente? La universidad seguramente hubiera seleccionado al primer candidato si el puntaje mínimo requerido era 1350 puntos.

Deary (2001) señala que aún no existen métodos que permitan medir, por ejemplo, la sabiduría o la creatividad, que son seguramente dos de los valores más preciados de los humanos. La teoría de Sternberg (1985) coincide también con las hipótesis de Deary. Sternberg destaca que en la Inteligencia hay tres partes fundamentales, la *analítica*, la *creativa* y la *práctica*, y en la actualidad sólo se tienen medidas efectivas sobre la parte analítica. Gardner (2005), reforzando lo anterior, menciona además que la sociedad sufre tres prejuicios Importantes que afectan el significado que le damos al concepto de Inteligencia: *occidentalismo, testismo* y *mejorismo*. El occidentalismo implica colocar ciertos valores occidentales, como el pensamiento lógico y la racionalidad, en el pedestal. El testismo sugiere la propensión a fijarse en habilidades humanas que se pueden evaluar inmediatamente. El mejorismo hace referencia al libro de David Halberstam (1993), *The Best and the Brightest*, que trata sobre los orígenes de la guerra de Vietnam. Halberstam relata que miembros destacados de la Universidad de Harvard fueron llamados a Washington para ayudar al presidente John F. Kennedy y que las malas decisiones, la deshonestidad y la poca voluntad de estos brillantes profesores para enfrentar la realidad, fueron determinantes para desencadenar la guerra de Vietnam. Gardner (1985) sostiene que la evaluación de la inteligencia en la actualidad es una reminiscencia más de un juicio artístico que de evidencias científicas. Jensen (1998), un teórico prominente en el área de inteligencia, señala que ni siquiera existe un acuerdo acerca de lo que significa inteligencia, por lo que resulta muy difícil obtener medidas correctas sobre este concepto.

6.1 LOS MÉTODOS PSICOMÉTRICOS Y LA ESCALA BINET-SIMON

Los métodos psicométricos comenzaron a tener una gran credibilidad y al mismo tiempo éxito desde que Binet y Simon pudieron distinguir, mediante ciertos exámenes, entre niños retrasados mentalmente y aquellos con problemas de comportamiento. La famosa escala de Binet y Simon, *The Binet-Simon Scale*, publicada en 1905, permitía obtener la edad mental de los niños con el propósito de identificar, de esta forma, aquellos Individuos que necesitaban de ayuda especial para cumplir con las exigencias escolares. Binet y Simon consideraban al desarrollo intelectual como la adquisición progresiva de los mecanismos intelectuales básicos. Un niño con cierto retraso mental era aquel que no había Incorporado los mecanismos Intelectuales que correspondían a su edad cronológica. La utilización generalizada de la escala, llevó a Binet y Simon a realizar una primera revisión de la misma, en 1908, publicada en la revista *Année Psychologique* con el nombre de *Le développement de l'intelligence chez les enfants*, y *una segunda revisión* publicada sólo por Binet, en la misma revista, en el año 1911, con el título de *Nouvelles*

recherches sur la mesure du niveau intellectuel chez les enfants des écoles (Binet, 1911).

6.2 EL COEFICIENTE INTELECTUAL Y LA ESCALA STANFORD-BINET

En 1912, William Stern, psicólogo alemán, introdujo el concepto de *coeficiente intelectual* (Cl), una traducción del término alemán *intelligenz-quotient*. El Cl se obtenía al dividir la edad mental entre la edad cronológica, multiplicada por 100. Un niño de 6 años con una edad mental de 5, se decía que tenía un coeficiente intelectual de 83 (5/6*100). En 1916, Lewis Terman, quien trabajaba en la Universidad de Stanford, hizo una revisión junto con su grupo de estudiantes de postgrado a la escala *Binet-Simon*, incorporó el concepto de coeficiente intelectual propuesto por Stern, agregó además algunos elementos completamente nuevos y eliminó otros que consideraba Irrelevantes. El resultado fue la escala conocida con el nombre de *Stanford-Binet*. Desde su concepción a la fecha, la escala ha sido modificada varias veces, y la última versión se conoce como *Stanford-Binet-5*, o *SB5* (Ruf, 2003).

Los cinco factores evaluados en SB5 son el razonamiento fluido, el razonamiento cuantitativo, el conocimiento, el procesamiento visual-espacial y la memoria. Además se realizan dos evaluaciones por cada uno de estos factores, una mide la parte verbal y la otra la parte no-verbal. La media del Cl es 100, la desviación estándar es 15 y la distribución es normal o gaussiana; es decir, sigue la curva normal. Los individuos con un coeficiente intelectual entre 120 y 130 se consideran superiores; entre 131 y 144, talentosos o muy avanzados; entre 145 y 160, muy talentosos o altamente avanzados; entre 161 y 175, extremadamente talentosos o extremadamente avanzados; y entre 176 y 225 profundamente talentosos o profundamente avanzados. El instrumento SB5 puede ser utilizado para evaluar individuos desde 2 hasta 85 años de edad.

6.3 LA ESCALA WECHSLER DE INTELIGENCIA PARA ADULTOS (WAIS)

David Wechsler, psicólogo rumano radicado en los Estados Unidos desde niño, es conocido por sus escalas de inteligencia. Wechsler desarrolló:

- La escala de Inteligencia para adultos, Wechsler Adult Intelligence Scale, WAIS.
- La escala de inteligencia para niños entre 6 y 16 años de edad conocida como Wechsler Intelligence Scale for Children, WISC.
- La escala primarla y preprimaria de Inteligencia para niños entre dos años y medio y hasta 7 años de edad, conocida como Wechsler Preschool and

Primary Scale for Children, WPPSI.

La escala WAIS, desarrollada por primera vez en 1939, específicamente la versión WAIS-III (Wechsler, 1997), representa en la actualidad el examen más reconocido en todo el mundo para medir la Inteligencia de los individuos (Kaplan y Saccuzzo, 2005). Las escalas de Wechsler introdujeron muchos conceptos novedosos e innovaciones al movimiento de los exámenes de inteligencia. El método WAIS-III permite distinguir entre 14 tipos diferentes de tareas mentales, verbales y no verbales, desde cálculos aritméticos hasta diseño de bloques y búsqueda de símbolos. Presenta además tres diferentes tipos de resultados: un Cl verbal, un CI de desempeño, y un Cl compuesto, basado en la combinación de resultados. La media del coeficiente intelectual en la escala WAIS-III es 100, la desviación estándar es 15 y la distribución es normal o gaussiana. Se estima que el 68% de los adultos se encuentran dentro de la media.

Para obtener medidas sobre las tareas verbales[1] se realizan exámenes sobre:

1. *Información*. Representa el grado de información adquirido por medio de la cultura. Las preguntas son relativas a personas, lugares y eventos. Por ejemplo: ¿Cuantos días tiene una semana? ¿Cuál es la capital de Francia? Mencione tres océanos.

2. *Comprensión*. Expresa la habilidad de un Individuo para manejarse con reglas, expresiones y convenciones sociales. Las preguntas son relativas a problemas de la vida diaria, aspectos de la sociedad y proverbios. Por ejemplo: Mencione algunas razones por la que se guardan los alimentos en el refrigerador. ¿Por qué los individuos requieren licencia para conducir?

3. *Aritmética*. Busca medir la concentración mientras se resuelven problemas aritméticos en forma mental.

4. *Similitudes*. Se evalúa el razonamiento verbal abstracto. Mencionar lo que tienen en común dos palabras. Por ejemplo: ¿En qué se parecen una manzana y una pera? ¿En qué se parecen una pintura y una sinfonía?

5. *Vocabulario*. Representa el grado de aprendizaje, comprensión y expresión del vocabulario verbal de un individuo. El examinado debe explicarle al examinador lo que significan ciertas palabras. Por ejemplo: silla, titubeante, presuntuoso.

6. *Secuencia de letras y números*. Implica atención y trabajo de memoria. El examinador lee una serie de números y letras en forma alternada. El examinado debe colocar primero los números

en orden ascendente y luego las letras en orden alfabético. Por ejemplo: dada la secuencia W4G8L3, la respuesta es 348GLW.

7. *Manejo de dígitos*. Requiere de atención y concentración. Repetir al examinador una secuencia de 2 a 9 números. Por ejemplo: 3-7-4 o 3-9-1-7-4-5-3-9

Por otra parte, para obtener medidas de las tareas no-verbales se realizan exámenes sobre:

1. *Completar figuras*. Requiere de habilidad para percibir detalles visuales. Reconocer el elemento faltante o diferente en una serie de figuras a color. Por ejemplo: encontrar los rayos faltantes de una rueda de bicicleta.

2. *Codificación de dígitos*. Implica coordinación visual-motora, y velocidad mental y motora. Hay que ingresar el código que corresponde a cada número. La calificación se obtiene de los códigos obtenidos en el término de 90 segundos. Por ejemplo, si el código para: 1 es , 2 es −, 3 es ≠, 4 es , 5 es x, 6 es |, 7 es ↵, 8 es y 9 es ∇; dada la siguiente secuencia de números: 6 7 3 9 8 1; la respuesta es:

| ↵ ≠ ∇

3. *Diseño de bloques*. Simboliza la percepción espacial, el procesamiento visual abstracto y el razonamiento espacial de un individuo. Se reproducen en las caras de cubos, patrones observados anteriormente formados por cuadrados y triángulos de colores blancos y rojos.

4. *Razonamiento sobre matrices*. Requiere de la resolución de problemas abstractos no-verbales, de razonamiento inductivo y de razonamiento espacial. Por ejemplo: encontrar siguiendo un patrón el elemento perdido en una matriz formada lógicamente.

5. *Arreglo de figuras*. Expresa el razonamiento secuencial y lógico, así como la comprensión social de un Individuo. Por ejemplo: dada una serle de dibujos que representan una historieta, hay que ordenarlos lógicamente.

6. *Búsqueda de símbolos*. Implica percepción visual. Se debe identificar de una lista de símbolos abstractos aquellos que pertenecen a una lista dada previamente. La calificación se obtiene de la mayor cantidad de símbolos que se puedan identificar en dos minutos.

7. *Montaje o armado de objetos*. Requiere de análisis visual, síntesis y construcción.

El examen WAIS-III se aplicó recientemente en los Estados Unidos, en 28 ciudades, a 2450 personas de 16 a 89 años de edad, con la misma proporción de etnias, igual número de mujeres que de hombres, y un nivel similar de educación entre los evaluados. Los resultados que arrojó el examen fueron sorprendentes. Un individuo pudo haber realizado una tarea mejor que otra, sin embargo las medidas de las diferentes habilidades estaban fuertemente correlacionadas: *los individuos que obtuvieron las mejores evaluaciones en una tarea, tendieron a tener las mejores evaluaciones también en las otras tareas*. Se obtuvieron 78 correlaciones diferentes entre los 13 exámenes —no se aplicó el examen no-verbal sobre montaje o armado de objetos— y un coeficiente promedio de 0.5 considerado como de efecto fuerte. La correlación más alta fue de 0.8 para los exámenes de vocabulario e información, y la más baja de 0.3, de efecto moderado, para los exámenes de completar figuras y repetición de frecuencias.

6.4 EL EXÁMEN MENTAL ESCOCÉS: SCOTTISH MENTAL SURVEY

Otro experimento muy interesante fue el realizado en Escocia en 1932, por el *Consejo Escocés para la Investigación en Educación* (SCRE, 1933). El 1 de junio, 87,498 alumnos —44,210 hombres y 43,288 mujeres— nacidos en 1921 y con edades de 10.5 a 11.5 años, contestaron las 75 preguntas del examen *Scottish Mental Survey 1932, SMS1932*, sobre palabras, números, formas, códigos, instrucciones, etc. El examen, una variación del *Moray House Test*, fue realizado por el reconocido psicólogo educacional de la Universidad de Edimburgo, Sir Godfrey Thomson. Los resultados se difundieron en varios libros escolares. Después de muchos años, 66 para ser exactos, el 1 de junio de 1998 los mismos alumnos que presentaron los exámenes en 1932 fueron requeridos para realizar exactamente el mismo examen. 101 alumnos se presentaron en esta oportunidad y contestaron las mismas preguntas. Los resultados fueron nuevamente sorprendentes. Los alumnos que tuvieron las mejores calificaciones en 1932 fueron los mismos que obtuvieron las mejores evaluaciones en este nuevo examen. Por otra parte, aquellos con las evaluaciones más bajas en 1932 fueron los mismos que obtuvieron las calificaciones más bajas en 1998. Otro dato importante, los alumnos ahora con 77 años de edad mejoraron en promedio su calificación. Hicieron ahora un examen mejor que cuando tenían 11 años de edad. Esto prueba, en cierta medida, que la inteligencia no disminuye con el correr de los años, al contrario, se mantiene estable o se incrementa (Deary et al.; 2000; Hart et al.; 2003). Se sabe también que sufre fluctuaciones en periodos cortos de tiempo, pero en general mantiene una estabilidad moderadamente ascendente.

Prueba de este hecho es que en el mundo las contribuciones más importantes a la ciencia fueron y son realizadas por investigadores con más de 50 años de edad. Otra correlación importante que se encontró fue entre la habilidad mental en la niñez y la clase social y/o categorías de residencia en la tercera edad. Un alto coeficiente intelectual en la niñez se relaciona con una clase social alta y una categoría de residencia próspera en los adultos mayores. Conforme se reduce la calificación en el examen de habilidades mentales en la niñez, se reducen las categorías de residencia y las privaciones en la tercera edad (Hart et al.; 2003).

6.5 LA INTELIGENCIA Y LA EDAD

Respecto a la relación entre la edad y la Inteligencia, Schaie (2000,1996ª) ha realizado una gran cantidad de estudios sobre el tema. Uno de ellos se conoce con el nombre de K. *Werner Schaie's Seattle Longitudinal Study*. El estudio longitudinal muestra que mientras algunas habilidades mentales declinan con la edad —habilidades activas o fluidas—, otras se mantienen estables y otro grupo se incrementa —habilidades cristalizadas— Por ejemplo, el razonamiento inductivo, la orientación espacial, la velocidad de percepción y la memoria son algunas de las habilidades que declinan en forma progresiva desde los 25 hasta los 81 años de edad. Por otra parte, la habilidad verbal se incrementa con el paso de los años en forma moderada desde los 39 hasta los 67 años, edad en la que alcanza el pico máximo. Ambos grupos de habilidades se aproximan y se mantienen estables desde los 53 hasta los 67 años aproximadamente, y se interceptan alrededor de los 60 años de edad. Schaie (1996b) señala que es difícil encontrar un decremento en el promedio de las habilidades mentales antes de los 60 años, pero que a partir de los 74 años comienza un decremento gradual de prácticamente todas las aptitudes intelectuales. Las variables que se han identificado como más importantes para reducir el riesgo del decremento de las habilidades mentales con el paso del tiempo son las siguientes:

a. Ausencia de enfermedades cardiovasculares y/o crónicas.

b. Un medio ambiente favorable que generalmente es propiciado por un alto status social.

c. Involucrarse en medio ambientes complejos y estimulantes intelectualmente.

d. Mantener un alto nivel de velocidad de percepción.

6.6 EL EFECTO FLYNN

James Flynn (1987, 1994), investigador de la Universidad de Otago en Nueva Zelanda, observó que en el siglo XX, en veinte países —los Estados Unidos, Canadá, China, Japón, Australia, Nueva Zelanda, Brasil, Israel y distintas naciones europeas —, los valores del coeficiente intelectual de diferentes grupos de individuos se incrementaban anualmente a razón de 0.3 y que por década se alcanzaba una media de 3 puntos. Flynn fue el primer investigador en realizar este tipo de comparaciones entre generaciones diferentes, y por esta razón el resultado del incremento del coeficiente intelectual se conoce con el nombre de *efecto Flynn*. Las explicaciones respecto de este fenómeno no se han precisado claramente, pero se atribuyen a la heterosis, a una mejor nutrición, a una educación superior —tanto por calidad como por mayor cantidad de años dedicados a una educación formal—, a mayores estímulos cognitivos, a una mayor experiencia para realizar exámenes de habilidades mentales —los niños que realizan el examen por segunda vez obtienen en promedio entre 5 y 6 puntos más— y a un medio ambiente más complejo y estimulante (Mingroni, 2004).

Dos grandes grupos de niños hispanos fueron, por ejemplo, evaluados con diferencia de 30 años. La media del coeficiente intelectual del segundo grupo se incrementó 9.7 puntos en este periodo, a una tasa de crecimiento de 3.23 puntos por década. Conscriptos holandeses, por otra parte, incrementaron 21 puntos el Cl en 30 años, a razón de 7 puntos por década (Raven, 2000). Los incrementos más grandes parecen ocurrir en aquellos exámenes que miden la *inteligencia fluida*. Estos exámenes, como las *matrices progresivas de Raven*, las *matrices noruegas*, el *test de Horn* y el *test de Jenkin*, enfatizan la solución de problemas y minimizan la confianza en habilidades específica sobre palabras o símbolos. Flynn sugiere que el incremento del coeficiente intelectual generación tras generación se debe más a un incremento en la capacidad para resolver problemas abstractos que en la inteligencia en sí misma. Dice Flynn: no *somos más inteligentes que nuestros ancestros, simplemente hemos aprendido cómo aplicar la inteligencia a un nuevo conjunto de problemas*. Flynn agrega que los exámenes de habilidades mentales probablemente no midan en forma exacta la inteligencia sino la capacidad para resolver problemas abstractos. Es indudable que el resultado de los exámenes de inteligencia se ha incrementado, como se observa en diferentes estudios, prácticamente en todo el mundo. Sin embargo, aún no queda suficientemente claro si lo que ha aumentado es en realidad el grado de inteligencia de los individuos, su capacidad de abstracción, o ambas.

6.6.1 LA RENORMALIZACIÓN DE LOS EXÁMENES

Los exámenes psicométricos se *renormalizan* periódicamente a partir del descubrimiento de Flynn, *efecto Flynn*, con problemas nuevos y más complejos. Esto con el propósito de obtener siempre una valoración media de 100. Si un individuo hubiera realizado un examen en 1960 y hubiera aplicado el mismo examen

renormalizado en 1980, hubiera obtenido seguramente una mejor calificación en el primer examen. Esta tendencia constante en el incremento de las calificaciones de los exámenes de inteligencia parece, sin embargo, haberse detenido en las naciones desarrolladas a mediados de la década de los noventa. Estudios realizados por Teasdale y Owen en 500,000 jóvenes daneses entre 1959 y 2004 muestran que el pico de rendimiento se obtuvo a finales de los años noventa y que luego los resultados se estabilizaron en niveles obtenidos en 1991 (Teasdale y Owen, 2008). Por otra parte, exámenes sobre razonamiento en física llevados a cabo por Shayer a adolescentes británicos exhiben resultados similares (Shayer et al.; 2007). Las razones de este decremento o estancamiento en las habilidades de los individuos no son claras. Es probable que el *efecto Flynn* puede haber finalizado en los países desarrollados, pero pudiera continuar en los países en vías de desarrollo o para las minorías, por ejemplo en los grupos de inmigrantes que pueden haber recibido una pobre nutrición en la niñez (Teasdale y Owen, 2005). Dickens y Flynn, por ejemplo, han señalado que los afroamericanos han ganado 5 o 6 puntos de coeficiente Intelectual sobre los blancos no-hispánicos entre los años 1972 y 2002 (Dickens y Flynn, 2006). Rushton y Jensen presentaron resultados similares, aunque reportan que la ganancia obtenida por los afroamericanos sobre los blancos no-hispánicos ha sido de 3.44 puntos (Rushton & Jensen, 2006).

Algunos investigadores señalan que la renormallzación puede ser la causa de este contra-efecto. Neisser (1997) menciona que si los niños americanos de 1932 hubieran tomado un examen renormalizado en 1997 para medir el coeficiente intelectual, hubieran obtenido una media de 80. En otras palabras, la mitad de los niños hubieran sido categorizados con algún grado de retraso mental. Deary (2001) indica también que si los niños británicos de 1942 hubieran tomado un examen renormalizado en 1992, hubieran obtenido una media de 73; si los niños holandeses de 1952 hubieran tomado el examen renormalizado en 1982, hubieran obtenido una media de 79; y si los niños Israelitas de 1970 hubieran tomado el examen renormalizado en 1985 hubieran obtenido una media de 91. Jensen (1998) advierte que la extrapolación puede ser muy riesgosa y puede guiar a resultados completamente equívocos, como que el coeficiente Intelectual de Aristóteles sería en la actualidad de -1000, aún considerando que hubiera obtenido 200 puntos en su época. Flynn concluye el estudio señalando que el 10% de los individuos más brillantes del siglo anterior, serían categorizados en la actualidad como el 5% más débil. Es indudable que la comparación entre exámenes de diferentes periodos puede resultar una tarea muy compleja si éstos no se encuentran renormalizados, aunque quedan muchas dudas acerca del proceso de renormallzación.

6.7 INTELIGENCIA GENERAL. EL FACTOR G

La *inteligencia general, inteligencia g, factor g* o *factor de inteligencia general* es un término utilizado en psicología para cuantlficar lo que resulta *común* en los exámenes que se realizan para medir la inteligencia. Spearman (1904), psicólogo inglés, encontró en sus Investigaciones que la correlación que existía entre los diferentes grupos o tareas de los exámenes de habilidades mentales (WAIS-III: 14, SB5: 10) reflejaban la influencia de un factor dominante, el cual acuñó como *g* para referirse a una *inteligencia general*. Spearman desarrolló entonces un modelo en el que todas las variaciones en los diferentes exámenes se pueden explicar utilizando solamente dos factores. El primer factor es específico a la tarea mental que realiza el Individuo. Es el que permite distinguir quién es más habilidoso que otro para realizar una determinada tarea cognitiva. El segundo factor, conocido como *factor g*, es el que controla el desempeño de las tareas cognitivas. Es en realidad el factor que determina el número mínimo de dimensiones necesarias para explicar un patrón de correlación entre las diferentes medidas. Carroll (1993) en las décadas siguientes ha confirmado este hallazgo, *el factor g*, y ha guiado a una concepción moderna de g. Es importante observar que en la actualidad, la mayoría de los expertos en inteligencia utilizan a *g* como la *definición de trabajo* de inteligencia.

Aunque los componentes de los exámenes de inteligencia miden diferentes habilidades, todos reflejan de alguna forma el *factor g*. Este se puede extraer de los resultados de cualquier examen de habilidades mentales, aunque en algunos casos puede estar contaminado por los efectos de ciertas capacidades específicas. La destreza para aislar a *g* del coeficiente intelectual ha revolucionado la investigación sobre inteligencia general, porque ha permitido a los investigadores mostrar que el valor predictivo de un examen mental deriva casi en su totalidad de este factor de inteligencia general más que de cualquier otra aptitud específica que pueda medir el examen (Gottfredson, 1998). El factor *g* es especialmente importante en la clase de comportamiento que un individuo asocia usualmente con inteligencia: razonamiento, resolución de problemas, pensamiento abstracto, aprendizaje rápido, etc. Es el elemento que permite distinguir entre individuos talentosos, promedio, o con algún tipo de retraso mental (Gottfredson, 1998). Una prueba de la importancia del factor *g* son los resultados que se han obtenido en los diferentes exámenes de habilidades mentales. Los resultados muestran que los individuos que son buenos en un campo, son los que tienden a ser buenos en los otros campos (SB-5, WAIS-III, Scottish Mental Survey). Flynn, por otra parte, señala que no hay de qué asombrarse con lo que muestra el *factor g*. Aquellos individuos que son excelentes cocineros, preparan siempre bien diferentes platillos. Aquellos que son malos cocineros, generalmente preparan mal o regularmente mal casi todos los platillos. Los individuos que son muy buenos pintores, por lo general pintan todo bien. Aquellos que no son buenos pintores, suelen pintar todo de manera regular y no llegan a prosperar en esta disciplina creativa.

En los últimos años ha aparecido mucha literatura con posiciones diferentes respecto a *g*. Carroll (1993, 2003), Brand (1996), Jensen (1998) y Nyborg (2003) han discutido ampliamente sobre el tema. Carroll, por ejemplo, señala que existe una fuerte correlación entre la *inteligencia fluida* y la *inteligencia cristalizada*, y que esta correlación se debe a una *inteligencia general*. Jensen (1998) sostiene que *g* representa en la actualidad la medida más importante sobre inteligencia. Otros teóricos como Ceci (1990), Gardner (1983) y Gould (1978) son en cambio muy críticos de los métodos psicométricos y de la utilidad tanto del coeficiente intelectual como de *g*. Horn y Masunaga, por ejemplo, señalan que las Investigaciones demuestran que los factores no son los mismos entre un estudio y otro, y por lo tanto no satisfacen los requerimientos establecidos en los modelos basados en una *inteligencia g* (Horn y Masunaga, 2000). Gardner y Ceci, por otra parte, no argumentan sobre la estabilidad de los resultados de los exámenes de habilidades mentales, ni que puedan predecir ciertos logros, especialmente escolares. Sin embargo, sostienen que al basar el concepto de inteligencia en los exámenes de habilidades mentales, se ignoran completamente otros aspectos muy importantes de las capacidades intelectuales de los individuos.

6.7.1 INTELIGENCIA FLUIDA E INTELIGENCIA CRISTALIZADA

La inteligencia fluida, *Gf*, y la inteligencia cristalizada, *Gc*, son dos factores de la inteligencia general identificados originalmente por Cattell (1971). Ambos factores pertenecen a dos sistemas separados del cerebro, se encuentran fuertemente correlacionados y la mayoría de los exámenes de habilidades mentales obtienen medidas de ambos. Por ejemplo, en el método WAIS-III la *Gf* se obtiene de las tareas no-verbales y la *Gc* de las tareas verbales. Por otra parte, el método ITDR, *The Intelligence Test Desk Reference*, representa la mejor técnica de evaluación que incorpora estos factores (McGrew y Flanagan, 2003).

La inteligencia fluida representa las habilidades para el aprendizaje, la resolución de problemas, el reconocimiento de patrones, la inducción, el razonamiento cuantitativo y para comprender la relación de varios conceptos, independientemente del conocimiento adquirido. La *Gc* está relacionada con la base fisiológica, con las estructuras del sistema nervioso y con el aprendizaje incidental. Involucra la corteza prefrontal dorsolateral, la corteza cingulada anterior y otros sistemas relativos a la atención y a la memoria corta (Geary, 2005). La inteligencia fluida se desarrolla hasta que el Individuo alcanza aproximadamente los 20 años de edad y luego comienza a declinar, posiblemente por atrofia del cerebro en el cerebelo derecho (Lee et al.; 2005).

La inteligencia cristalizada, por otra parte, representa las habilidades que dependen del conocimiento y la experiencia de la cultura que se frecuenta, tales como

el vocabulario, la información general, la comprensión de textos, el uso de analogías. Por esta razón, se relaciona a la parte verbal. La *Gc* es una función aparentemente del cerebro que involucra el almacenamiento y la memoria extendida, tales como el hipocampo (Geary, 2005). Se estima que se incrementa en forma gradual, se mantiene estable en el periodo de madurez del individuo hasta los 65 años de edad, y luego comienza a declinar (Cavanaugh y Blanchard-Fields, 2006). En los estudios realizados se puede observar que los individuos que cuentan con la inteligencia fluida, generalmente tienden a adquirir más fácilmente la inteligencia cristalizada.

6.8 LA TEORÍA CATTELL-HORN-CARROLL (CHC)

Aunque a lo largo de los años se han desarrollado diferentes teorías para explicar el comportamiento humano inteligente, los métodos más influyentes en la actualidad derivan de las pruebas psicométricas. La teoría de Cattell-Horn-Carroll, en este nuevo siglo, representa el modelo teórico psicométrico más prominente sobre las habilidades cognitivas de los humanos (McGrew, 2004; Sternberg y Kaufman, 1998). Se considera una teoría psicométrica porque la estructura de la inteligencia se obtiene del estudio y la correlación de las calificaciones de las diferentes tareas en los exámenes de habilidades mentales. CHC representa la integración de dos teorías similares sobre el contenido y la estructura de las habilidades cognitivas humanas, la teoría de Cattell y Horn sobre inteligencia fluida e inteligencia cristalizada (Cattell & Horn, 1978) y la teoría de Carroll (1993) sobre las tres capas de la inteligencia. Carroll argumenta que los factores no son meros artefactos de un proceso matemático. Estos se utilizan para describir diferencias observables y estables entre individuos en la ejecución de ciertos tipos de tareas.

En la cima de la teoría CHC, capa uno, *stratum*-III, se encuentra el factor de inteligencia general. La segunda capa, *stratum*-II, comprende ocho habilidades generales del individuo que pueden gobernar o influenciar una gran cantidad de comportamientos dentro de un determinado dominio. Las ocho habilidades son: inteligencia fluida, inteligencia cristalizada, memoria general y aprendizaje, percepción visual, percepción auditiva, habilidad de recuperación, velocidad cognitiva y velocidad de reacción tiempo-decisión. Finalmente, la tercera capa, *stratum*-I, comprende 69 habilidades específicas —subcategorías— de la segunda capa.

La inteligencia humana es claramente multidimensional. La década anterior se ha caracterizado por la acumulación de suficiente evidencia como para probar esta hipótesis. La teoría CHC se ha consolidado como la teoría psicométrica sobre la cual se puede construir una taxonomía de las diferencias cognitivas entre los individuos. Tal es así, que Horn y Jensen han comparado la teoría de capas de Carroll con la tabla periódica de química de Mendelyev (McGrew, 2004). En los próximos años, nuevas investigaciones sobre el tema seguramente fortalecerán la teoría incorporando nuevos

factores y/o incrementando alguna capa en la teoría jerárquica multidimensional de Cattell-Horn-Carroll.

Capítulo 7
LA INTELIGENCIA, LOS GENES Y EL MEDIO AMBIENTE

Un aspecto que siempre ha despertado la curiosidad de los individuos, es conocer si la inteligencia depende de los genes, del medio ambiente o de ambos. Deary (2001) señala que miembros de una misma familia tienden generalmente a alcanzar resultados similares en exámenes de habilidades mentales, mientras que individuos que no se encuentran relacionados genéticamente, no. Bouchard (2004) menciona que en la actualidad la discusión entre los investigadores no es si existe una influencia genética sobre los rasgos sicológicos de los individuos, sino cuál es el grado de influencia y cómo los genes trabajan para forjar la mente. Rutter (2002), reforzando lo anterior, indica que hay una conclusión imposible de ignorar: *los factores genéticos juegan un rol sustancial en los orígenes de las diferencias individuales con respecto a todos los rasgos sicológicos, sean éstos normales o anormales*.

La evidencia obtenida por los estudios realizados durante los últimos años sugiere que la variación genética tiene una influencia decisiva en el coeficiente intelectual. Se estima que aproximadamente el 75% de la inteligencia, sobre todo de los adultos, deriva de los genes (Bouchard, 2004). Herrnstein y Murray, en cambio, señalan que el 60% del coeficiente intelectual es heredable (Herrnstein y Murray, 1994). La influencia genética en el intelecto parece ocurrir principalmente como resultado de la interacción entre múltiples genes, aunque tanto los mecanismos de interacción entre los mismos como la dinámica de la estructura cerebral permanecen desconocidos en la actualidad. Respecto a los genes identificados, ya se reconocen algunos responsables de las diferencias cognitivas individuales, así como otros causantes de ciertas discapacidades (Beaujean, 2005), Por ejemplo, la variante e4 del gen *apolipoprotein-E* se ha relacionado con las enfermedades del Alzheimer y de la aterosclerosis, y se considera que perjudica las habilidades cognitivas de los adultos mayores (Jiang et al.; 2008). El gen dysblndin-1, *DTNBP1*, se ha vinculado a la

esquizofrenia y se estima puede estar relacionado a las habilidades cognitivas generales (Burdick et al.; 2006). El gen *GDI1* se asocia con retraso mental y un coeficiente Intelectual menor a 70 (D'Adamo: et al.; 1998). El gen *ALDH5A1* se relaciona con una diferencia en el *CI* de al menos 1.5 puntos (Plomin et al.; 2004). El gen *CHRM2* sobre el cromosoma 7 se encuentra fuertemente relacionado con el coeficiente intelectual (Dick et al.; 2007). Finalmente, la versión G del gen *FADS2 se* considera que agrega 7 puntos al *CI* (Caspi et al.; 2007).

7.1 GENOTIPO, FENOTIPO Y LA HERENCIA DEL Cl

El *genotipo* representa la constitución genética, el conjunto de genes —secuencia corta del ADN que determina cómo producir una proteína— de una célula, organismo o individuo. En cada célula del cuerpo humano existen aproximadamente 30,000 genes. Cada uno de ellos tiene dos alelos**[1]**, uno procedente del padre y el otro de la madre. Los alelos pueden ser dominantes (A) o recesivos (a), por lo que se pueden producir tres diferentes combinaciones en un gen, conocidas como diploides: a) homocigoto dominante (AA), b) homocigoto recesivo (aa) y c) heterocigoto (Aa). Con un *alelo dominante* el proceso reproductivo garantiza transferir —heredar— el rasgo en cuestión. Un homocigoto dominante —diploide a— tiene un fenotipo normal y ningún riesgo de transferir genes anormales. Con un *alelo recesivo* el fenotipo depende del otro alelo. Un heterocigoto —diploide *c*—tiene un fenotipo normal, pero cuenta con el 50% de probabilidades de transferir un gen anormal. En el caso de enfermedades recesivas, como la hemofilia, el individuo se convierte en un transportador. Por otra parte, un homocigoto recesivo —diploide *b*— tiene un fenotipo anormal y cuenta con el 100% de probabilidades de transferir genes anormales. Es importante observar que estas asociaciones genéticas se utilizan en la actualidad para determinar los factores de riesgo asociados con ciertas enfermedades.

El *fenotipo*, por otra parte, representa la expresión del genotipo en un determinado ambiente. Se puede definir también como el conjunto de rasgos físicos y conductuales de un organismo. Mientras el genotipo de un individuo se identifica examinando el ADN, el ácido desoxirribonucleico, el fenotipo se reconoce observando la apariencia externa, tal como la morfología, el desarrollo, el comportamiento del individuo y las propiedades bioquímicas y fisiológicas. Ciertas características, como el grupo sanguíneo, sólo se pueden obtener utilizando técnicas especiales. Es importante considerar además que no todos los organismos con el mismo genotipo lucen o actúan de la misma forma, ya que la apariencia y el comportamiento pueden ser modificados justamente por el medio ambiente. En contraparte, no todos los organismos que tienen apariencias similares cuentan con el mismo genotipo. La variación fenotípica es el requisito fundamental para la evolución por selección natural.

7.1.1 PLASTICIDAD FENOTÍPICA

La *plasticidad fenotípica* representa la capacidad de un organismo de cambiar su fenotipo como respuesta a cambios que ocurren en el medio ambiente —temperatura, salinidad, cantidad de luz, nutrientes, sedimentos, etc.— En realidad, refiere al conjunto de fenotipos que puede producir un único genotipo que se encuentra expuesto a factores *bióticos* y *abióticos*. Esta plasticidad se observa con cambios morfológicos en ciertos casos, y con una norma de reacción, una función específica del genotipo que relaciona a cada fenotipo con el ambiente en el que ha sido producido, en otros (**figura 6**). Las hormigas, por ejemplo, tienen el mismo genotipo. Sin embargo, en una misma colonia existen individuos con comportamientos y morfologías diferentes: *reinas* y *obreras*. Esta diferencia tan marcada entre individuos con un mismo genotipo, pero que pertenecen a castas distintas, se produce por la manera en que se tratan los huevos en la colonia, ya que se manipulan factores como la dieta embriónica y la temperatura de incubación. La *neuroplasticidad* o *plasticidad sinóptica* representa también otro ejemplo de la plasticidad fenotípica. Individuos con los mismos genes pueden comportarse diferente al modificar las rutas de conexión de las neuronas. Esto genera efectos en el funcionamiento de los circuitos neurales y en la organización del cerebro. La neuroplasticidad positiva crea y amplía las redes, mientras que la negativa elimina aquellas que no se utilizan.

Figura 6. Plasticidad fenotípica:[2] moluscos Donax variabilis

7.1.2 FACTORES EPIGENÉTICOS

Otro argumento, que se deriva de nuevas teorías y experimentos, para justificar las variaciones entre individuos que se encuentran relacionados genéticamente son los *factores epigenéticos*: una modificación en la expresión del gen que es independiente de la secuencia del ADN del mismo. Bird (2007) señala que en la secuencia de ADN del organismo no existen cambios y son factores no genéticos los que causan que los genes se comporten en forma diferente. Conrad Waddington fue el primero en acuñar el término *epigenética*, al que definió como *la rama de la biología que estudia la interacción causal entre los genes y sus productos, de los cuales emerge el fenotipo final*.

La mayoría de los cambios epigenéticos ocurren en el curso de la vida del organismo, aunque algunos pueden ser heredados generación tras generación (Chandler, 2007). Algunos procesos epigenéticos que se han identificado son los siguientes:

a. Clonación.

b. Terapias basadas en células madres.

c. Paramutación: silenciamiento de la expresión de un alelo activo por parte de otro inactivo situado en el mismo locus[3] en ciertos heterocigotos.

d. Regulación de la *heterocromatina*[4].

e. *Imprinting*: mecanismo de regulación de la expresión del gen.

f. *Bookmarking*: mecanismo de la memoria epigenética que se utiliza para transmitir a través de la mitosis el patrón de genes activos y/o genes que pueden ser activados en células hijas.

g. *Transvection*: fenómeno epigenético que resulta de la interacción entre un alelo sobre un cromosoma y el correspondiente alelo sobre el cromosoma homólogo. El fenómeno puede guiar a la activación o represión de un gen.

h. Silenciamiento de genes.

i. Inactivación del cromosoma X.

j. Efectos teratógenos: sustancias o agentes del medio ambiente que causan el desarrollo de células anormales durante el crecimiento del feto.

k. Regulación de las modificaciones de la *histona*[5].

En la actualidad, se sabe que los factores epigenéticos son responsables de ciertos tipos de cáncer, de retraso mental, del síndrome de Angelman[6], del síndrome de Prader-Willi[7], del síndrome de Rett[8], etcétera.

7.1.3 HERENCIA GENÉTICA

La *herencia genética* se reconoce como la medida de la contribución relativa de los genes a la *variación* de un fenotipo sobre un grupo de individuos en un medio ambiente específico (Rose, 2006). La variación entre los individuos se puede deber tanto a factores genéticos como a factores del medio ambiente. En forma más simple, podríamos decir que consiste en la transmisión a su descendencia, por medio del material genético contenido en el núcleo celular, de los caracteres de los ascendentes. El ser vivo resultante tendrá por lo tanto características de los dos padres. El rango de valores para la herencia genética es de 0 a 1. Mientras que el valor de 0 indica que no existe herencia genética en el rasgo evaluado, el valor de 1 muestra que el 100% es

atribuible a la genética. La herencia del coeficiente intelectual consiste, por lo tanto, en predecir el coeficiente intelectual que puede tener —heredar— un niño en función del CI de sus padres. Dado que el coeficiente intelectual es un fenotipo cuantificable, McClean (1999) sugiere utilizar la siguiente fórmula básica para realizar la estimación:

$$y = x + h^2 \left(\frac{m + f}{2} - x \right)$$

Donde

- y: es el CI esperado del niño.
- x: representa la media del coeficiente intelectual de la población, a la cual sus padres pertenecen.
- h^2: expresa el grado de heredabilidad del coeficiente intelectual.
- m y f: representan los Cl del padre y de la madre, respectivamente.

Un niño, por ejemplo, cuyos padres tienen un coeficiente intelectual de 105 y 112, respectivamente, con una media del Cl de la población de 100, y con un h^2 de 0.50, tendrá un coeficiente intelectual estimado de 104.25. Es importante observar además que:

a. La heredabilidad del coeficiente intelectual tiende a aproximarse a la media de la población de ese medio ambiente.

b. La heredabilidad no indica la proporción del grado genético del rasgo, sino la proporción de la varianza fenotípica que es resultado de factores genéticos (McClean, 1999).

c. El medio ambiente puede afectar un rasgo particular con alta heredabilidad.

d. La heredabilidad no implica inmutabilidad: algo que es heredado, con el correr del tiempo puede ser modificado.

7.2 EL ESTUDIO DE MINNESOTA SOBRE GEMELOS

Uno de los estudios más importante que se ha desarrollado para establecer la relación entre los genes, el medio ambiente y la inteligencia se conoce con el nombre de *Minnesota study of twins reared apart* (Bouchard y McGue, 2003; Bouchard et al.;

1990), en el que evaluaciones físicas y sicológicas fueron conducidas longitudinalmente sobre pares de gemelos idénticos y no idénticos.

Los *gemelos idénticos* —porque coinciden en sus rasgos—, conocidos también como *monocigóticos* —porque derivan de un solo cigoto— o *univetelinos* —porque utilizan la misma placenta—, son aquellos que tienen el 100% de los genes en común, es decir la misma secuencia de ADN cromosomática. Un esperma fertiliza un huevo formando un embrión, que se descompone en dos en una etapa inicial. Los gemelos idénticos siempre son del mismo sexo. Por otra parte, los *gemelos no idénticos*, conocidos también como *dicigóticos* o *bivitelinos*, comparten aproximadamente el 50% de los genes en común —dos espermas fecundan dos huevos— Estos se consideran como cualquier otro hermano porque comparten el 50% de los genes. Los gemelos idénticos han sido siempre una fuente de inspiración y superstición, desde los míticos fundadores de Roma, Rómulo y Remo (Wong et al.; 2005), hasta la paradoja de los gemelos en la teoría de la relatividad especial (Mansouri y Sexl, 1977).

Las pruebas del estudio de Minnesota, 50 horas de exámenes médicos y sicológicos, fueron realmente contundentes. Los resultados de los exámenes de habilidades cognitivas fueron similares para los gemelos idénticos, incluso considerando aquellos casos que habían sido separados desde la niñez. Sorprendentemente, las correlaciones entre los gemelos idénticos que habían crecido juntos, *MZT*, y aquellos que habían sido separados desde la niñez, *MZA*, fueron prácticamente iguales. De las 22 medidas que se reportaron —tan variadas como patrones electroencefalográficos, presión de la sangre sistólica, WAIS-III, el examen de las matrices de Raven, el inventario sicológico de California, actitudes sociales sobre escalas religiosas y no religiosas, etc.—, 15 tuvieron una correlación casi idéntica, y el resto con muy poca diferencia (Wong et al.; 2005; Bouchard y McGue, 2003). El estudio mostró que los genes contribuyeron al coeficiente intelectual con aproximadamente el 70%, mientras que el medio ambiente afectó en una menor proporción.

7.2.1 OTROS ESTUDIOS DE FAMILIA SOBRE INTELIGENCIA

Bouchard y McGue mostraron también las correlaciones obtenidas de 111 estudios originales sobre la relación entre Inteligencia y vínculos de consanguinidad llevados a cabo en los Estados Unidos. La correlación media del coeficiente intelectual entre monocigóticos fue de 0.86, entre hermanos 0.47, entre medio hermanos 0.31 y entre primos 0.15 (Bouchard y McGue, 1981). Robert Plomin señala que la *herencia de la inteligencia* se manifiesta en un 20% en la niñez, en un 40% en la juventud y se incrementa hasta un 80% en la adultez intermedia. Los estudios de Plomin (Plomin et al.; 2000) coinciden con las aportaciones de Peper (Peper et al.; 2007) y Giedd (Giedd et al.; 1999). La fase transicional de la infancia a la adultez involucra cambios

en la morfología del cerebro que son esenciales para el correcto funcionamiento del mismo. En el comienzo de la pubertad el volumen de la materia gris comienza a decrecer, mientras que el volumen de la materia blanca se encuentra en pleno crecimiento. Por otra parte, la influencia genética opera diferente en las distintas regiones del cerebro. En el volumen del lóbulo frontal la influencia se estima en el rango de 90-95%, mientras que en el hipocampo la contribución se encuentra en el rango de 40-69%. Otros estudios revelan además que el volumen total del cerebro está positivamente relacionado con la *inteligencia general o factor g*. En individuos saludables, el nivel de las funciones intelectuales ha sido positivamente asociado al volumen total del cerebro y a los volúmenes de la materia gris y blanca (Thompson et al.; 2001; Posthuma et al.; 2002). Estos cambios en el volumen y morfología del cerebro explican, en cierta forma, las diferencias en porcentajes que se observan sobre la contribución genética al coeficiente intelectual, en las diferentes etapas del individuo.

McClearn mostró también en un estudio realizado en Suecia sobre 240 gemelos, que las funciones cognitivas permanecían prácticamente estables durante toda la vida, independientemente del medio ambiente (McClearn et al.; 1997). El entorno contribuía de alguna forma, pero no lo suficiente como para evitar que la genética fuera el factor decisivo. La investigación se realizó en 110 gemelos monocigóticos y 130 gemelos dicigóticos con características similares respecto a: a) género, el 64% femenino; b) años de educación, 7.2 +-2.4; y c) etnia, 100% caucásicos. La edad promedio fue de 82.3 años. El 74% de los individuos tenían una edad comprendida entre 80 y 84, un 22% entre 85 y 89, un 3% entre 90 y 94, y un 1% mayor a 95. Las mayores probabilidades asociadas a la herencia fueron de 62% para habilidades cognitivas generales y velocidad de procesamiento, mientras que la menor probabilidad fue de 32% y correspondió a la habilidad espacial. El estudio concluye señalando que las habilidades cognitivas se encuentran entre los rasgos de comportamiento más asociadas a la herencia.

En realidad, si bien se suponía desde las pruebas de Francis Galton realizadas en el año 1875, que individuos con los mismos genes debían tener fisonomía y comportamiento similares, se desconocía hasta la fecha el grado de influencia de los genes en el intelecto. Intuitivamente se pensaba que cualquier contribución genética a las funciones mentales podían declinar con el paso del tiempo, tanto por los efectos de la edad como por el medio ambiente al que se encuentran expuestos los individuos. Muchos de los estudios se habían realizado con niños, de ahí la intuición de que el paso del tiempo podía afectar o modificar la relación entre genes e inteligencia. Uno de los casos más extraordinarios se observó con Ruth y Annié Nystrom, gemelas idénticas de Suecia, de 93 años, cuyos resultados de los exámenes de habilidades mentales fueron casi idénticos (Gottesman, 1997). Estos resultados motivaron que fueran portada de la revista *Science*.

7.3 EL PROYECTO DE ADOPCIÓN DE TEXAS

Otro estudio interesante que se desarrolló para evaluar la influencia de los genes y el medio ambiente en el intelecto fue el que llevaron a cabo con niños adoptados John Loehlin y su grupo de investigadores (Loehlin et al.; 1997). Los estudios sobre adopción son muy importantes porque proporcionan unos de los pocos métodos disponibles para observar y separar los efectos de la herencia y el medio ambiente en estudios de desarrollo. Los padres biológicos no tienen ninguna influencia en el medio ambiente, mientras que los padres adoptivos sí. El proyecto de Loehlin permitió generar resultados sobre 469 niños que fueron entregados a 300 familias adoptivas —se examinaron 300 madres adoptivas— y comparar estos resultados con medidas obtenidas de 364 madres biológicas —muy pocos padres biológicos fueron evaluados—. Los niños fueron entregados en adopción a las pocas semanas del nacimiento, y las madres biológicas nunca vieron los niños después de la entrega. Es importante observar también que los niños fueron evaluados en dos etapas, primero cuando tenían un promedio de 8 años y luego cuando alcanzaron los 18 años de edad. Los resultados soportan la hipótesis de que la variabilidad genética representa una influencia importante en el desarrollo de las diferencias individuales en la inteligencia (Horn, 1983). Los niños adoptados obtuvieron resultados mucho más parecidos al de sus madres biológicas que al de sus madres adoptivas. En la mayoría de los casos se observó también que los niños adoptados se encontraban expuestos a un medio ambiente sustancialmente mejor que al que le hubieran podido proporcionar sus padres biológicos. Esto es razonable dado que los padres adoptivos, generalmente, son seleccionados por tener un conjunto de características deseables, como estabilidad emocional, historia de empleo, estatus socioeconómico, etcétera.

7.4 LA INFLUENCIA GENÉTICA EN EL COMPORTAMIENTO HUMANO

Una de las preguntas que mayor fuerza ha cobrado en los últimos años en las disciplinas que abordan el comportamiento inteligente es: *¿por qué estudiar la influencia genética en el comportamiento humano?* La respuesta en este momento parece simple: *para obtener una mayor comprensión del funcionamiento del cerebro.* Unos años atrás este cuestionamiento hubiera sido casi inconcebible, pero en los últimos años se han realizado nuevos estudios, las investigaciones han avanzado notablemente y por lo tanto se cuenta con mucho mayor conocimiento y comprensión del tema, que generan a su vez una nueva serie de interrogantes. Los gemelos monocigóticos, por ejemplo, tienen una fisonomía equivalente, secuencias de ADN idénticas, pero en el *interior* se observan algunas variaciones que son causa de nuevas polémicas. Estas variaciones internas que incluyen discordancia en importantes fenotipos y enfermedades complejas, se atribuyen fundamentalmente a

efectos del medio ambiente —nicotina y cáncer de pulmón— La tasa de concordancia respecto al comportamiento entre gemelos monocigóticos es cercana al 70% para problemas de dislexia, autismo, desórdenes afectivos, alcoholismo, alzheimer y esquizofrenia. En el caso de enfermedades, la tasa es casi 25% para problemas de hipertensión, diabetes, esclerosis múltiple, cáncer de pecho, golpe de calor y artritis reumática. Por otra parte, la tasa de concordancia para gemelos dicigóticos en lo que respecta a comportamiento, baja notablemente casi a un 30%. El valor más alto se presenta en dislexia con 40% y el más bajo en autismo con 10%. En caso de enfermedades, la tasa es cercana al 10% (Wong et al.; 2005). Es importante observar las diferencias notables en porcentaje que existen entre los gemelos monocigóticos y dicigóticos para problemas de comportamiento y enfermedades.

Otros estudios recientes sobre la influencia genética en dominios de la personalidad y habilidades concuerdan que (Plomin et al.; 2000; Loehlin et al.; 2005; van Ijzendoom et al.; 2005):

a. Las diferencias genéticas entre individuos aportan una contribución esencial a las diferencias observadas entre ellos.

b. El medio ambiente que se comparte entre los miembros de una familia realiza una contribución importante en los primeros años de vida del niño, pero el efecto comienza a desvanecerse en la adolescencia.

c. Los efectos del medio ambiente, los cuales difieren entre los individuos dentro de una misma familia, también contribuyen de alguna forma en las diferencias individuales.

Loehlin y su grupo de colaboradores realizaron una serie de preguntas para observar si existían diferencias entre niños adoptados y niños biológicos que crecían en una misma familia, y por lo tanto compartían el mismo medio ambiente (Loehlin et al.; 2005). Una de las preguntas fue: *¿los niños adoptados difieren de los niños biológicos en una familia adoptiva?* La respuesta fue: *sí, pero sólo un poco*. Los niños adoptivos en general tenían calificaciones levemente inferiores a los niños biológicos en aspectos positivos, y levemente superiores en aspectos negativos. Los resultados detallados por tema fueron:

a. Alto nivel de educación: adoptados 4.05, biológicos 4.42.

b. Problemas de drogas o alcohol: adoptados 2.07, biológicos 1.78.

c. Ansiedad o depresión: adoptados 3.80, biológicos 3.26.

d. Amigos en la preparatoria: adoptados 7.14, biológicos 7.24.

e. Amigos y actividad social: adoptados 6.53, biológicos 6.92.

Otra de las preguntas fue: *¿los hermanos relacionados genéticamente son más parecidos a aquellos hermanos, que si bien no están relacionados genéticamente, han crecido en el mismo medio ambiente?* La respuesta fue que los hermanos biológicos se parecían más. Los resultados por temas fueron:

a. Alto nivel de educación: no relacionados 0.19, relacionados 0.43.

b. Problemas de drogas o alcohol: no relacionados 0.01, relacionados 0.13.

c. Ansiedad o depresión: no relacionados 0.08, relacionados 0.23.

d. Amigos en la preparatoria: no relacionados 0.19, relacionados 0.38.

e. Amigos y actividad social: no relacionados 0.21, relacionados 0.27.

7.5 FUERTES CRÍTICAS A LA RELACIÓN ENTRE GENOTIPOS E INTELIGENCIA

Una fuerte objeción a los estudios que muestran la relación entre genotipos e inteligencia fue presentada por Eric Turkheimer, profesor de psicología de la Universidad de Virginia. Turkheimer afirma que la mayoría de los estudios son, en general, poco objetivos porque no incluyen en los mismos a individuos que pertenecen a niveles socioeconómicos bajos. Los resultados de los estudios de Turkheimer demuestran que la proporción de la varianza del coeficiente intelectual atribuible a los genes y al medio ambiente varía en forma no lineal cuando se considera el estatus socioeconómico. El modelo de Turkheimer sugiere que en familias empobrecidas, prácticamente el 60% de la varianza del coeficiente intelectual es atribuible al medio ambiente y la contribución de los genes, en estos casos, es cercana a cero. El modelo también muestra que en familias prósperas ocurre exactamente lo contrario (Turkheimer et al.; 2003).

Un estudio interesante y en el que se demuestra el efecto dramático del medio ambiente, cuando los individuos pertenecen a niveles socioeconómicos bajos, fue conducido por Harold Skeels sobre 25 niños que vivían en un orfanato en los Estados Unidos (Skeels et al.; 1938). El orfanato se encontraba atestado y en precarias condiciones, por lo que 13 niñas fueron trasladadas a la *Glenwood State School* para niñas con retraso mental. El promedio del coeficiente intelectual de estas niñas era de 64, mientras que el promedio de los niños que permanecieron en el orfanato era de 87. Después de 18 meses, las niñas transferidas a la escuela especial, que tenían el cuidado y la fina atención de sus maestras, aplicaron un nuevo examen y en éste obtuvieron un promedio de 93. En sólo 18 meses incrementaron sorprendentemente el coeficiente intelectual en 29 puntos. De las 13 niñas, 11 fueron dadas en adopción. Dos años más tarde, las 11 niñas dadas en adopción fueron evaluadas nuevamente y

en esta ocasión lograron un promedio de 101 puntos de coeficiente intelectual. Al mismo tiempo, los niños que quedaron en el orfanato fueron evaluados nuevamente, obteniendo en esta oportunidad un promedio de 66 puntos. En unos pocos años decrementaron su CI en 21 puntos. Este estudio muestra en forma plausible el efecto dramático del medio ambiente sobre el coeficiente intelectual de los niños.

Otra investigación llevada a cabo en Francia revela que un grupo de niños dados en adopción entre los 4 y 6 años de edad tuvieron en promedio un coeficiente intelectual de 77, colocándolos a ellos muy cerca del retraso mental. Unos años más tarde, nueve para ser precisos, estos mismos niños fueron evaluados nuevamente. Todos, contrariamente a la creencia popular de que el coeficiente intelectual es estable, lo hicieron mucho mejor. Aquellos niños.que crecieron en familias de granjeros y obreros obtuvieron un Cl de 85.5, los niños que fueron ubicados en familias de clase media obtuvieron un coeficiente intelectual de 92, y aquellos que fueron ubicados en familias prósperas escalaron más de 20 puntos, para alcanzar un Cl de 98 (Kirp, 2006).

Shenkin también encontró en un estudio realizado sobre 449 niños nacidos en el *Edinburgh Royal Maternity* y el *Simpson Memorial Hospital*, que aquellos niños con un peso menor a 2.5 kg al momento de nacer, de familias con bajos estándares económicos, ilegítimos y/o de madres alcohólicas, tendían a obtener resultados Inferiores en los exámenes de habilidades mentales (Shenkin et al.; 2001). La correlación, sin embargo, entre estas variables y los resultados de los exámenes fue de 0.05 a 0.13 considerado como de efecto muy bajo. El coeficiente en cambio se incrementaba de manera considerable si el peso del niño al nacer era menor a 1.5 kg. Los estudios también señalan que la malnutrición severa afecta prácticamente en forma permanente el desarrollo cognitivo del niño.

Hay otros estudios que demuestran también que la cultura y el medio ambiente afectan los resultados en exámenes de habilidades mentales. Por ejemplo, los niños de China y Japón tienen mayor conocimiento de las matemáticas que los niños de los Estados Unidos de la misma edad, y este conocimiento se refleja indudablemente en los exámenes de habilidades mentales. En otro estudio, Serpell (1979) mostró resultados en los cuales se le pedían a niños de los Estados Unidos y Zambia que reprodujeran patrones en medios diferentes: alambre, arcilla, papel y lápiz. Los niños de Zambia fueron excelentes con el alambre, y los niños de los Estados Unidos con el papel y lápiz. Ambos grupos lo hicieron bien con la arcilla. Es indudable que tener práctica o estar acostumbrado a trabajar con ciertos medios puede influir al momento de resolver el examen. Schellenberg (2004) también demostró que el entrenamiento musical incrementa el coeficiente intelectual.

Otro caso interesante se encuentra relacionado con los años de educación del individuo. La correlación entre los años de escolaridad y los resultados en los exámenes de habilidades mentales es de 0.55, considerado de efecto fuerte. Otro tipo de correlaciones indican que individuos con resultados altos en los exámenes de

habilidades cognitivas están menos relacionados con problemas de crímenes juveniles que aquellos individuos con bajas calificaciones.

7.6 LA INTERACCIÓN GEN - MEDIO AMBIENTE

Cuando se trata de explicar las raíces de la inteligencia, la lucha entre los partidarios de los genes y los partidarios del medio ambiente es antigua y feroz (Kirp, 2006). Mientras los defensores del medio ambiente reviven la guerra sobre la pobreza, los partidarios de los genes abrazan la perspectiva darwiniana, señala David Kirp, profesor de políticas públicas de la Universidad de California, en Berkeley. Todo indica que los genes y el medio ambiente no se pueden evaluar en forma separada. Los genes seguramente definen el potencial de la inteligencia, pero el medio ambiente determina en forma dramática si el individuo podrá alcanzar ese potencial. En los estudios que hemos analizado, se observa en general que el medio ambiente afecta el intelecto *potencial* del niño, no permitiendo básicamente que éste se pueda desarrollar con plenitud. Michael Rutter, de la Universidad de Londres, señala acertadamente que la herencia genética es significativa sólo en el contexto de la experiencia.

H3. La evidencia obtenida durante casi 100 años de estudios sugiere que la variación genética tiene una influencia decisiva en el coeficiente intelectual: se estima que aproximadamente el 75% de la inteligencia —principalmente de los adultos— deriva de los genes. Los genes son los responsables de definir en el individuo los límites de la inteligencia, pero el medio ambiente es el encargado de determinar de manera dramática si el individuo podrá alcanzar ese potencial.

Capítulo 8
MEDIDAS FÍSICAS DE LA COGNICIÓN

El cerebro humano es indudablemente el órgano más Impresionante, complejo e intricado que ha evolucionado desde que se tiene memoria. Es probablemente el más desconocido y tanto por esta razón, como por lo que representa, el que más atención atrae en la actualidad. De hecho, el número de análisis comparativos que se enfocan en la evolución del tamaño del cerebro del *homo sapiens* y otras especies se ha Incrementado de manera notable en los últimos años. En neurociencias ningún otro tema ha captado tanto interés y generado tantos acalorados debates como las diferencias en el tamaño del cerebro entre grupos étnicos, en sus connotaciones e implicaciones.

8.1 LA RELACIÓN ENTRE EL TAMAÑO DEL CEREBRO Y EL INTELECTO

La relación entre el tamaño del cerebro y el intelecto ha sido aceptada prácticamente de manera universal en el siglo XIX y en los primeros años del siglo XX (Broca, 1861; Darwin, 1871). Paul Broca, por ejemplo, el famoso neurólogo francés, concluyó que el tamaño del cerebro se relaciona en forma directa con los logros intelectuales. En sus estudios observó que los trabajadores habilidosos e individuos eminentes tenían un cerebro más grande que aquellos que no tenían tal condición (Rushton y Ankney, 2007). Francis Galton (1889), por otra parte, fue el primero en cuantificar la relación entre el tamaño del cerebro y la habilidad mental, en un estudio elaborado entre 1,000 estudiantes universitarios hombres. Sus resultados muestran que la capacidad craneal continúa en crecimiento después de los 19 años, y que los individuos que alcanzaban el grado de honor en la ceremonia de graduación en la Universidad de Cambridge, tenían un cerebro entre 2% y 5% más grande que aquellos que no obtenían tal distinción (Rushton y Ankney, 2007). Louis Terman

(1926) demostró además que los individuos talentosos tenían, en promedio, *un* cerebro más grande que aquellos que no lo eran.

En la actualidad, la relación entre el tamaño del cerebro y el Intelecto es sostenida y documentada, en decenas de estudios, por varios investigadores (Tan et al.; 1999; Flashman et al.; 1998; Gur et al.; 1999; Pennington et al.; 2000; Wickett et al.; 2000; MacLullIch et al.; 2002; Ivanovic et al.; 2004a). La correlación, en estos estudios, entre el coeficiente Intelectual y el tamaño del cerebro es mayor a 0.40. *Más grande es el cerebro, más alto es el coeficiente intelectual*. En principio, esta presunción proviene del hecho de que gran parte del cerebro se encuentra ocupado por asociaciones corticales. Si el cerebro es más grande, entonces más asociaciones corticales podrían caber en el mismo. Un incremento en el tamaño del cerebro podría derivar además en un aumento en sus funciones. Haug (1987) demostró igualmente que cerebros más grandes tienen más neuronas, y Gibson (2002) señaló que un incremento en el tamaño del cerebro Implica un aumento en la complejidad conceptual o semántica. Por otra parte, los homínidos evolucionaron de un cerebro pequeño de aproximadamente 400 cm^3, a un promedio de 1,400 cm^3 en la actualidad. Si el tamaño no fuera importante, cabría cuestionarse por qué el cerebro ha evolucionado en forma tan notable durante los últimos millones de años. Dado además que el tamaño del cerebro es proporcional a la capacidad de procesamiento de la información, la evolución de la *encefalización*[1] implica esencialmente un Incremento en la capacidad de procesamiento de la información (Jerison, 1985). Finalmente, si se reconoce que la selección natural actuó sobre el comportamiento de las especies, como señalan los biólogos evolutivos, habría que pensar también que podría haber actuado sobre la arquitectura neural. Barton (2006) presentó resultados que muestran evidencia de que la selección natural ha influido en la estructura cerebral.

8.1.1 GRUPOS ÉTNICOS: GENOTIPOS, FENOTIPOS E INTELIGENCIA

Las diferencias en el tamaño del cerebro entre *grupos étnicos o grupos de individuos definidos socialmente*, así como sus connotaciones e implicaciones, han captado el interés y generado una gran cantidad de polémicas en diferentes disciplinas. Un grupo étnico refiere básicamente a una categorización de los seres humanos en *grupos* o *poblaciones* considerando una cultura común y un conjunto de factores heredables, tales como características faciales, pigmentación de la piel, morfología del cráneo, textura del cabello, entre otros. Aunque muchos consideran que un grupo étnico se encuentra integrado por Individuos con genotipos y fenotipos similares — raza como *clado*[2], otros en cambio sostienen que la etnicidad debe ser comprendida como una categoría social, delineada de acuerdo con la cultura, que finalmente establece la distinción étnica. Las definiciones, en la actualidad, de los grupos de

individuos definidos socialmente o de los grupos étnicos son obviamente imprecisas, arbitrarias y tienen muchas excepciones. Es importante observar que a la luz de estas consideraciones de fondo, sería realmente sorprendente si se omitieran de manera consciente tanto los resultados de las investigaciones genéticas, como los componentes del medio ambiente o la relación gen-medio ambiente, *gene-environment interplay*. La omisión de cualquiera de los puntos señalados podría simplemente cerrar las puertas a nuevo conocimiento.

En general, todo el mundo coincide en que los asiáticos, los europeos y ios africanos son fácilmente reconocibles y distinguibles entre sí por sus fenotipos. Es decir, por la expresión de los genotipos en un determinado medio ambiente. La controversia fundamental se puede sintetizar de la siguiente manera: a) si individuos con genotipos similares tienen fenotipos similares, y b) si los genotipos, que representan el principal factor para la definición de los fenotipos, son también responsables de la definición del intelecto de los individuos. Respecto al primer punto, la mayoría de los investigadores sostienen que genotipos similares implican fenotipos similares, aunque se reconocen ciertas excepciones como los factores epigenéticos o la plasticidad fenotípica. Con relación al segundo punto, la evidencia obtenida por los estudios conducidos en los últimos años, permite inferir que la variación genética tiene una influencia decisiva en el coeficiente intelectual. Aproximadamente el 75% de la inteligencia, sobre todo de los adultos, deriva de los genes (Bouchard, 2004).

Los resultados de los avances científicos parecen, por lo tanto, indicar que los genotipos son responsables de definir los límites teóricos de la inteligencia, pero el medio ambiente es, en gran parte, responsable de determinar en forma dramática en qué medida el individuo podrá alcanzar o acercarse a esos límites. En los estudios sobre modelos de heredabilidad hay además una conclusión que es imposible de ignorar: *no es apropiado aplicar las conclusiones relativas a la heredabilidad extraídas de estudios sobre grupos de individuos con vínculos de consanguinidad —por ejemplo, estudios sobre gemelos—, a grupos de individuos que no tienen vínculos de parentesco, tal como los grupos étnicos*.

8.1.2 CAPACIDAD CRANEAL Y GRUPOS ÉTNICOS

Rushton señala que los descendientes de africanos, con fenotipo negro**[3]**, consecuencia de climas tórridos, tienen en promedio una capacidad craneal (*cc*) de 1,267 cm^3 y 13,185 millones de neuronas corticales (*nc*), los descendientes de europeos blancos tienen 1,347 cm^3 de *cc* y 13,665 millones de *nc*, y los descendientes de asiáticos del este**[4]** poseen 1,364 cm^3 de capacidad craneal y 13,767 millones de neuronas corticales. Rushton agrega que estas diferencias en los tamaños del cerebro involucran millones de neuronas y cientos de millones de sinapsis que establecen una desigualdad en los exámenes de habilidades mentales (Rushton, 1995). En promedio,

los individuos descendientes de africanos con fenotipo negro alcanzan un *CI* de 85, los caucásicos un coeficiente intelectual de 100 y los individuos descendientes de asiáticos del este un *CI* de 106 (Rushton y Rushton, 2003; Rushton y Ankney, 2007). El promedio más bajo de coeficiente intelectual corresponde a los africanos subsaharianos con 70 (Jensen, 1998; Lynn & Vanhanen, 2002; Rushton, 1995). Cabe mencionar que en el África subsahariana se encuentran los países —salvo algunas excepciones— con el *índice de desarrollo humano*[5] más bajo de todo el planeta, que sufren los terribles legados del colonialismo, del neocolonialismo, de los conflictos étnicos y de la inestabilidad política.

Por otra parte, Beals, Smith y Dodd, quienes desarrollaron el estudio más grande sobre diferencias étnicas en volumen endocraneal, con medidas de 20,000 cráneos de todo el mundo, muestran también que en promedio la capacidad craneal de los asiáticos del este es 1,415 cm^3, la de los europeos 1,362 cm^3 y la de los africanos con fenotipo negro 1,268 cm^3 (Beals et al.; 1984). La distribución del coeficiente intelectual entre grupos étnicos también ha sido tema de investigación en los Estados Unidos. Los resultados de las investigaciones indican que los hispánicos y los nativos americanos, incluyendo los nativos del ártico (Berry, 1966; MacArthur, 1968) tienden a obtener un promedio menor que la población blanca, pero mejor que los afroamericanos (Roth et al.; 2001). La población que proviene o es descendiente de individuos del este asiático tiene, en cambio, un mejor promedio que los caucásicos (Hunt y Carlson, 2007). Finalmente, una lista de un meta análisis realizado por Richard Lynn a nivel mundial, señala que, en promedio, el mayor coeficiente intelectual corresponde a los individuos del este asiático con 105 puntos, luego siguen los europeos con 99, los inuit o esquimales con 91, los amerindios con 87, los pobladores de las islas del pacífico con 85, los habitantes del norte africano con 84, los sub-saharianos con 67, los aborígenes australianos con 62 y los bosquimanos, *bushmen*, con 54 (Lynn y Vanhanen, 2002).

La expansión del cerebro desde el nacimiento es impulsada por el crecimiento de sinapsis e interconexiones corticales, que se encuentran expuestas a condiciones nutricionales y del medio ambiente (Rao y Jacobson, 2005; Peters, 1995). Los habitantes del África subsahariana tienen un coeficiente intelectual bajo y una capacidad craneal reducida, pero es importante observar que ésta es la región del mundo con la mayor *pobreza artificial*[6]. La mayoría de los individuos tienen condiciones nutricionales paupérrimas, que indudablemente afectan el normal crecimiento del cerebro. La dieta, por ejemplo, aparece como una de las causas principales que explica la variación en el tamaño del cerebro en primates no-humanos (Healy y Rowe, 2006; Clutton-Brock y Harvey, 1980). Una dieta rica en carne se correlaciona además con el incremento del tamaño del cerebro en los mamíferos (Foley et al.; 1991). Coon (1955) señala también que la morfología craneal es una reflexión de la termorregulación: es *mucho más fácil mantener una cabeza pequeña fresca que una grande*. Desde esta perspectiva, en regiones cálidas como en África,

una cabeza pequeña representa una ventaja. En cambio, en zonas geográficas con climas fríos, como en Europa y Asia, la ventaja la representa una cabeza grande. De este análisis, se podría deducir que:

> a. La variación morfológica craneal de los individuos del África subsahariana se puede explicar por dos factores: *la nutrición y la termodinámica del medio ambiente*.
>
> b. La variación en la morfología craneal de los diferentes grupos de población definidos socialmente se puede explicar por la relación gen-medio ambiente, *gene-environment interplay*.

Rutter (2010) presenta recientemente las diferentes formas de coacción entre los genes y el medio ambiente.

Otro aspecto interesante del debate consiste en analizar si resulta benéfico o ético estimar el coeficiente intelectual de los diferentes grupos étnicos. Sternberg señala, por ejemplo, que las razas y las etnias son grupos definidos socialmente y su afiliación o membresía dependen más de la zona geográfica —asiáticos— o del lenguaje en común —lenguaje español en América—, que de factores genéticos. Por esta razón, concluye que las discusiones de la correlación entre grupos étnicos e inteligencia, la cual extrapola una causa genética, no tienen ningún fundamento (Sternberg et al.; 2005). Rose (2009) menciona que la ciencia y la sociedad no obtienen ningún beneficio al estudiar las razas y su coeficiente Intelectual. Cita, por ejemplo, que los exámenes genéticos para detectar desórdenes para los cuales no existen tratamiento no se ofrecen al público por cuestiones éticas. Ceci, Williams, Nisbett y Flynn opinan, en cambio, que tales estudios son significativos y que las causas de estas diferencias se pueden resolver con estudios empíricos (Ceci y Williams, 2009; Nisbett, 2009; Flynn, 2007).

Finalmente, cabe señalar que independientemente de la correlación que pueda existir entre los diferentes grupos étnicos y la Inteligencia, y de la ética de tales estudios, queda claro que existe una presión de algunas organizaciones internacionales para boicotear esta clase de estudios. Frank Ellis**[7]**, de la Universidad de Leeds, en el Reino Unido, tuvo que tomar un *rápido y sorpresivo retiro*, después de que una tormenta ética se desencadenó cuando sugirió en un periódico de estudiantes, que los niveles de inteligencia se relacionan con las etnias (Ceci y Williams, 2009). James Watson, por otra parte, quien junto Francis Crick y Maurice Wilkins obtuvo el Premio Nobel de Medicina por descifrar la estructura en doble hélice de la molécula del ácido desoxirribonucleico, ADN, ha sido también duramente criticado por señalar en *The Sunday Times*, el 14 de octubre de 2007, que *all our social policies are based on the fact that [African] intelligence is the same as ours, whereas all the testing says not really***[8]**. Watson Iba a presentar una conferencia en el Museo de Ciencias de Londres, la cual fue suspendida. James

Watson era además el presidente del *Laboratorio Cold Spring Harbor*, en los Estados Unidos, una firma líder en investigación sobre el cáncer y dolencias neurológicas. El laboratorio, después de las declaraciones efectuadas al periódico británico, además de suspenderlo de la Institución, emitió una nota señalando que éstas *no reflejan de manera alguna las misiones, metas o principios de la junta directiva del laboratorio, su administración o sus docentes.*

8.1.3 TAMAÑO DEL CEREBRO: ¿MÉTRICA IMPORTANTE?

La mayoría de los investigadores sostiene que las variables relativas al tamaño del cerebro proporcionan los mayores mediadores biológicos de las diferencias étnicas en la inteligencia. Los efectos del tamaño son manifiestos por medio del cerebro y no son específicos a alguna región particular del mismo (Rushton y Ankney, 2007; Haier et al.; 2004; Reiss et al.; 1996). Otros expertos, sin embargo, consideran que ha llegado el momento de examinar la validez y el valor de utilizar como medida el tamaño del cerebro completo, en lugar de enfocarse en otras métricas basadas en las grandes partes multifuncionales del cerebro, que pueden ser de mayor interés (Healy y Rowe, 2007; Rogers, 2004; Duncan et al.; 2000). Por ejemplo, el control motor, la cognición y el procesamiento sensorial, o bien las regiones del cerebro como la corteza cerebral**[9]**, el cerebelo**[10]**, el mesencéfalo**[11]**, etc. Una conclusión adicional es que el incremento del tamaño del cerebro podría darse como resultado del incremento de otras partes del mismo (Mace et al.; 1980). Cabe señalar que la corteza cerebral ocupa el 77% del volumen del cerebro humano, el mesencéfalo el 4%, el cerebelo el 10%, la médula espinal el 2%, el metencéfalo**[12]** el 2% y el diencéfalo —cerebro intermedio— el 4% (Swanson, 1995). El cerebelo, con sólo el 10% del volumen total del cerebro, contiene más de la mitad de los 100 billones de neuronas del cerebro (Kandel et al.; 2000). Respecto al volumen de la corteza cerebral, el 41% corresponde al lóbulo frontal, el 22% al lóbulo temporal, el 19% al lóbulo parietal y el 18% al lóbulo occipital (Kennedy et al.; 1998).

8.1.4 TÉCNICAS DIFERENTES: ¿FACTOR DE IMPRECISIÓN?

Otra variable importante que se debe considerar cuando se obtienen medidas físicas del cerebro es específicamente la *técnica* que se aplica, dado que puede ser fuente de imprecisión y/o incertidumbre, sobre todo cuando se establecen posteriormente correlaciones entre estas métricas y el intelecto. Mientras que Rushton, por ejemplo, utiliza resonancia magnética, *MRI*, Madden (2001) aplica rayos X sobre el cráneo, Ivanovic y Wickett emplean la circunferencia del cráneo (Ivanovic et al.; 2004b;

Wickett et al.; 2000), Iwaniuk y Nelson realizan los cálculos llenando el cráneo con la técnica *lead shot* (Iwaniuk y Nelson, 2001), y Marino aplica tomografía computarizada, *CT scan*, sobre especímenes fosilizados —cetáceos— (Marino et al.; 2006). Aunque, cabe aclarar, las diferentes técnicas se usan generalmente sobre cráneos de diferentes especies, es importante observar que el uso de métodos distintos para realizar los cálculos puede llevar a medidas y juicios poco confiables.

En uno de los últimos estudios presentados por Rushton y Ankney muestran que en 55 ejemplos en que el coeficiente intelectual fue correlacionado con medidas físicas del cráneo, se obtuvo una media *r* de 0.20; en 27 ejemplos en los que se utilizó técnicas de imágenes del cerebro la media *r* fue de 0.40; y en cinco ejemplos en los que se aplicó el método para correlacionar vectores para extraerg, la media fue de 0.57 (Rushton y Ankney, 2007). Jensen (1994) encontró una correlación de 0.19 entre g y el perímetro de la cabeza en un examen cognitivo entre 286 adolescentes. Sin embargo, cuando utilizó el método para correlacionar vectores obtuvo una correlación de 0.64. Schoenemann, por otra parte, obtuvo una correlación de 0.45 entre el volumen cerebral y g (Schoenemann etal.; 2000).

8.2 EL RADIO ENTRE EL PESO DEL CEREBRO Y EL PESO CORPORAL

En la actualidad, como se ha señalado antes, la relación entre el tamaño del cerebro y el intelecto es sostenida y documentada, en decenas de estudios, por varios investigadores (Tan et al.; 1999; Flashman et al.; 1998; Gur et al.; 1999; Pennington et al.; 2000; Wickett et al.; 2000; MacLullich et al.; 2002; Ivanovic et al.; 2004a). Más grande es el cerebro, más grande es el intelecto. Por otra parte, se conoce también y es de dominio público que el tamaño del cerebro de un *homo sapiens* es menor al del cerebro de un delfín y la sexta parte del cerebro de una ballena. Existe también la presunción de que el ser humano es el más inteligente de todos los animales. Como se puede inferir claramente, el tamaño del cerebro no puede representar la variable más significativa si se quiere establecer una comparación entre diferentes especies, aunque probablemente siga siendo en nuestros días la variable asociada al comportamiento e intelecto que mejor se correlaciona.

Jerison (1983) señala que el tamaño del cerebro determina, prácticamente en su totalidad, el área de la superficie cortical. La correlación es de $r = 0.995$. En los mamíferos, asimismo, el área de la superficie cortical determina la capacidad de procesamiento de la información. Jerison (1985) concluye que, dado que el análisis es estadístico, el tamaño del cerebro nos permite *estimar* más que *determinar* la capacidad de procesamiento neuronal.

Una medida física más interesante para la estimación del intelecto de diferentes especies la representa la relación, el *radio*, entre el peso del cerebro y el peso corporal. Realicemos algunos cálculos para obtener tanto el radio del hombre, como

los radios del delfín, del loro gris africano y del chimpancé; los animales supuestamente más inteligentes del mar, del cielo y de la tierra, respectivamente.

- *Hombre*. Cerebro: 1.4 kg. Peso: 75 kg. Radio → 1.86%
- *Delfín nariz de botella*. Cerebro: 1.5 kg. Peso: 120 kg. Radio → 1.25%
- *Chimpancé*. Cerebro: 0.4 kg. Peso: 45 kg. Radio → 0.88%
- *Loro gris africano*. Cerebro: 0.0057 kg. Peso: 0.33 kg. Radio → 1.72%

Los resultados, como se puede observar, muestran cierta coherencia con la percepción que tenemos los humanos sobre la superioridad de la inteligencia, respecto a la de otros seres vivos.

La fórmula del radio, sin embargo, aunque parece lógica y es aplicable para un gran número de animales, presenta algunas inconsistencias. El cerebro de una musaraña pesa 3 gramos y su peso total es de 30 gramos, por lo que su radio es de 10%. El resultado sugiere que una musaraña es 5 veces más inteligente que un *homo sapiens*. Por otra parte, un Individuo obeso —160 kg— tendría un radio de 0.84% y su inteligencia sería similar a la de un chimpancé. Asimismo, la capacidad craneal del gran físico Albert Einstein era de 1,230 cm^3, considerablemente menor que el volumen promedio de un adulto mayor (Anderson y Harvey, 1996). El radio de Einstein era de 1.64 (1.23/75), obviamente menor que el promedio de un hombre adulto. Anderson y Harvey señalan que la corteza cerebral de Einstein era más delgada de lo normal, pero que la densidad de sus neuronas era más grande. Esto le permitía almacenar más neuronas en un espacio más pequeño. Un caso similar de densidad ocurre con algunos animales, un gato tiene el cerebro más pequeño que un perro, pero la densidad de sus células es mucho mayor (Roth y Dicke, 2005). Todos estos datos, muy significativos por cierto, no son tomados en cuenta en la fórmula del radio y afectan claramente su resultado.

8.3 COEFICIENTE ENCEFÁLICO, CE

Una alternativa más confiable sobre medidas físicas de la cognición la representa el *cociente encefálico, encephalization quotient, CE,* que utilizan los paleoneurólogos[13], y aparece en estudios zoológicos y ocasionalmente en la literatura humana (Jerison, 2000). Más grande es el organismo, más peso requiere el cerebro para realizar las tareas básicas de sobrevivencia, termorregulación, habilidades motoras, etc. Más grande es el cerebro en relación con el cuerpo, mayor será la capacidad disponible del cerebro para realizar tareas cognitivas. El CE representa la desviación de la regresión del radio peso-cerebro/peso-cuerpo y se calcula como:

$$CE = (\text{capacidad craneal en } cm^3) / (0.12 * (\text{peso del cuerpo en gramos})^{2/3}))$$

Las constantes 0.12 y (2/3) fueron derivadas empíricamente. Jerison (1973) estimó la constante que se utiliza en la potencia en 0.666, o 2/3, para mamíferos. La constante indica que existe una importante relación geométrica entre el volumen y la superficie. Martin (1981), por otra parte, estimó la misma constante, la cual describe una relación metabólica, en 0.76, utilizando un conjunto de casos más grande. Estas diferencias sirven también para observar la imprecisión que existe en la actualidad con los parámetros y los valores que aparecen en las fórmulas. El CE promedio se define como 1. La musaraña alcanza un *CE* de 2.54, un delfín un coeficiente encefálico superior a 5, y un ser humano un *CE* de 6.54. Russell (1983) encontró que el coeficiente encefálico de un mamífero que vivió hace 65 millones de años era 0.30, comparado al promedio de 1.0 de hoy en día. En la siguiente tabla se presenta el coeficiente encefálico del hombre y algunos animales. Cabe destacar que los datos sobre el peso y la capacidad craneal de los animales son relativos, porque cambian considerablemente en la literatura.

Nombre	***Especie***	***Peso (Kg)***	***Cerebro (Kg)***	***CE***
Humano	Homo sapiens	75.00	1400.00	6.56
Delfín ballena	Lissodeiphis borealis	73.00	1162.00	5.55
Delfín nariz de botella	Tursiops truncatus	119.96	1535.00	5.26
Delfín de commerson	Cephalorhynchus comm.	43.00	732.00	4.97
Macaco	Macaca nemestrina	4.89	108.87	3.15
Baboon	Papio hamadryas	9.88	15544	2.81
Chimpancé	Pan troglodytes	45.00	398.60	2.63
Capuchino	Cebus capucinos	3.10	66.94	2.63
Gorila	Gorilla gorilla	120.50	512.92	1.75
Coyote	Canis latrans	S.51	84,24	1.69
Loro gris africano	Psittacus erithacus	0.33	5.70	1.00
León	Felis leo	142.82	240.60	0,73
Tigre	Felis tigris	184.50	263.50	0.68
Hipopótamo	Hippopotamus amphibhts	1351.00	732.00	0.50
Ballena azul	Balaenoptera musculus	58059,00	6800.00	0.3S

Tabla 1. Coeficiente encefálico del hombre y algunos animales

8.3.1 LA GRASA DISTORSIONA LA FÓRMULA DEL CE

La fórmula del coeficiente encefálico, aunque parece mucho más razonable que la anterior, también presenta cierta fragilidad. La fórmula, por ejemplo, no permite distinguir entre un humano delgado y uno obeso. Mientras que un individuo con 75 kg de peso y una capacidad craneal de 1,400 cm^3, tendría un *CE* de 6.56, un

individuo con 150 kg de peso y la misma capacidad craneal, obtendría un coeficiente encefálico de 4.14. La grasa inequívocamente distorsiona la fórmula del coeficiente encefálico.

Respecto al tamaño del cerebro del hombre y la mujer, los estudios muestran que el cerebro de la mujer es más pequeño que el del hombre. La dimensión del cerebro del hombre comienza a disminuir desde los 25 hasta los 80 años, aproximadamente, mientras el de la mujer se mantiene estable durante toda la vida, una vez que alcanza su tamaño máximo. Se desconocen, hasta la fecha, los factores genéticos, hormonales, del medio ambiente, que operan en la mujer. Allen, Damasio y Grabowski encontraron en un estudio sobre 46 adultos caucásicos, que el promedio de la capacidad craneal de los hombres era de 1,273.6 cm^3 —1,052.9 a 1,498.5—, mientras que el de las mujeres era 1,131.1 cm^3 —974.9 a 1,398.1—. La diferencia en el promedio en este estudio es de 142.5 cm^3 (Allen et al.; 2002). Ivanovic igualmente encontró en una investigación llevada a cabo en Chile con 96 estudiantes de 18 años de edad, que el promedio de la capacidad craneal de los hombres era de 1,470 cm^3 después de los ajustes correspondientes, mientras que la capacidad de las mujeres era, en promedio, de 1,404 cm^3 (Ivanovic et al.; 2004a). Asimismo, estudios que han utilizado MRI han observado estas diferencias (Gur et al.; 1999; Reiss et al.; 1996).

Un análisis reciente de Richard Haier, de la Universidad de California, con colegas de la Universidad de Nuevo México, muestra que si bien el hombre y la mujer piensan diferente, no hay ningún estudio que demuestre la superioridad del hombre respecto a la mujer en el intelecto (Haier et al.; 2004). El cerebro está constituido principalmente por dos tipos distintos de tejido, denominados *materia gris* y *materia blanca*. La materia gris representa centros de procesamiento de información, mientras que la materia blanca trabaja para enlazar estos centros de procesamiento. Los hombres piensan más con su materia gris y las mujeres lo hacen más con la materia blanca. Los estudios muestran que los hombres tienen cerca de 6.5 veces más de materia gris relacionada con la inteligencia que las mujeres, mientras que éstas tienen casi 10 veces más la cantidad de materia blanca relacionada con la inteligencia que los hombres. En el estudio concluyen que el hecho de que los dos sexos piensen en forma diferente, no implica que afecte su desempeño intelectual.

Por otra parte, aunque el cerebro del hombre es más grande que el de la mujer y está compuesto por una proporción diferente de sustancias —materia gris y materia blanca—, la mujer tiene un porcentaje de grasa en el cuerpo considerablemente superior al del hombre. Mientras un hombre tiene un porcentaje de grasa corporal en el rango de 18-25%, una mujer tiene un porcentaje de grasa corporal en el rango de 25-31%. La grasa nuevamente distorsiona la fórmula. La desviación de la regresión del radio peso-cerebro/peso-corporal-magro permitiría equilibrar el coeficiente encefálico del hombre y la mujer. Así, un hombre con una capacidad craneal de 1,273.6 cm^3 (Allen et al.; 2002) y 67.58 kg de masa sin grasa (86.09 kg[14] * 0.785)

obtendría un *CE* de 6.40, mientras que una mujer con una capacidad craneal de 1,131.1 cm^3 (Allen et al.; 2002) y un peso de 53.20 kg de masa sin grasa (73.89 kg[15] * 0.72) obtendría un *CE* de 6.66.

8.4 COMENTARIOS FINALES SOBRE MEDIDAS FÍSICAS DE LA COGNICIÓN

Los estudios sobre medidas físicas de la cognición se encuentran, sin duda, en una etapa primaria, principalmente de aprendizaje. La fórmula del coeficiente encefálico en el que se considera la masa del cuerpo sin grasa parece actualmente el indicador más apropiado para poder establecer una escala de la inteligencia entre los seres vivos, aunque presenta lógicamente ciertas deficiencias. La fórmula, por ejemplo, utiliza dos constantes que son derivadas empíricamente, y por lo tanto, son muy sensibles al conjunto de datos del cual provienen. La variabilidad en la densidad de las neuronas representa un factor adicional que puede contribuir a distorsionar la fórmula. Estudios recientes muestran una alta correlación entre los resultados de los exámenes psicométricos de la cognición y el cociente encefálico, pero se necesitan muchas más estudios para confirmar esta alta correlación. En la actualidad, la relación entre el tamaño del cerebro y la cognición es aún muy controversial. Estudios futuros permitirán seguramente obtener nuevos elementos que posibilitarán modificar la fórmula actual o sugerir una nueva.

Si los especialistas de las diferentes disciplinas Involucradas pretenden en algún momento arribar a alguna medida certera de la Inteligencia, tendrán que definir primero con precisión qué es Inteligencia —actualmente no existe un consenso—, cuáles son las habilidades cognitivas que Involucra, qué se quiere medir, cómo medir —las imágenes en tercera dimensión seguramente ayudarán en este aspecto— y estandarizar los parámetros apropiados considerando además el conjunto de datos sobre los que se aplican las fórmulas. Mientras tanto, los juicios que se hagan tanto de la Inteligencia como de los métodos psicométricos y físicos que se utilizan para medirla se deberán realizar con mucha precaución.

Capítulo 9

LOS SAVANTS Y LAS SOCIEDADES DE ALTO COEFICIENTE INTELECTUAL

Un *savant* o individuo con el *síndrome del sabio, savant syndrome*, es aquel que ha sido identificado con una *condición rara* o ciertos desórdenes, incluido autismo, que tiene una o más áreas de extraordinaria habilidad, en contraste con serias limitaciones individuales generales. Las habilidades emergen espontáneamente, son literales, no simbólicas y no se derivan de la práctica. Treffert y Christensen señalan que la condición puede ser genética, pero también puede ser adquirida en las etapas prenatal, perinatal o postnatal (Treffert y Christensen, 2005). La mitad de los savant son autistas, mientras la otra mitad tiene otro tipo de desórdenes como retraso mental, daños en el cerebro, hiperlexia, síndrome de Asperger[1], síndrome de Williams[2], pérdida del cuerpo calloso —tracto nervioso que conecta los dos hemisferios del cerebro—, anormalidades en el hemisferio izquierdo del cerebro, etc. Existen también algunos casos raros de savant, es decir savant que no presentan ninguna anormalidad aparente, pero que pudieran tener alguna lesión cerebral que no se puede detectar con las técnicas actuales y no se manifiesta claramente en el comportamiento observable del individuo. Por otra parte, cabe señalar que sólo el 10% de los autistas son savant. El síndrome del sabio es además seis veces más frecuente en hombres que en mujeres, y aunque existe preponderancia de hombres entre los autistas, este último hecho no explica en forma definitiva tal diferencia. Una característica en común entre los individuos con el síndrome del sabio es su prodigiosa memoria, su atracción por los números y calendarios, y su fascinación por la música y el arte. Pring (2005) señala que hay evidencia de que los savant y los expertos comparten importantes características. Se estima que actualmente viven en el mundo poco menos de 50 savant.

¿Puedes multiplicar 125, 368, 974 × 345, 678 y obtener una respuesta en 5 segundos? Realizar este tipo de cálculos en cuestión de segundos representa un

ejemplo de la excepcional habilidad mental de un savant. A Joseph le preguntaron qué número da como resultado 1,234,567,890 después de ser multiplicado por *n*, y contestó en cuatro segundos 137, 174, 210 × 9. Otro savant dedujo en unos pocos segundos que 140, 737, 488, 355, 328 se obtiene al multiplicar 8, 388, 628 × 24. Allan Snyder, el director del *Centro para la Mente* de la Universidad de Sidney, Australia, ha descubierto en fechas recientes que la estimulación magnética transcraneal, *transcraneal magnetic stimulation, TMS*, una tecnología principalmente aplicada para el tratamiento del autismo, la depresión, la esquizofrenia y el Alzheimer, mejora en forma notable la capacidad intelectual de las personas, permitiéndoles entender teorías científicas y resolver complejos problemas matemáticos, prácticamente en cuestión de minutos (Snyder et al.; 2006; Snyder et al.; 2003). La estimulación magnética transcraneal funciona activando magnéticamente zonas profundas del cerebro, supuestas responsables de la inteligencia del más alto nivel. La teoría *TMS* se fundamenta en el hecho de que cuando una zona del cerebro se encuentra dañada, otra libera completamente sus habilidades, a tal grado que permite superar la capacidad intelectual que el individuo detentaba previamente. Los *savant —savant syndrome o síndrome del sabio—* representan claros ejemplos de este tipo. Snyder agrega que es probable que cualquier individuo pueda realizar cálculos extremadamente complejos en el futuro, como los señalados al inicio del párrafo, una vez que se compruebe su teoría acerca del origen de las excepcionales habilidades numéricas de los savant (Fox, 2002).

En el *Centro para la Mente*, Snyder simula temporalmente la condición de un savant en individuos normales, creando una lesión virtual. Es decir, inhibiendo durante un cierto periodo de tiempo el lóbulo temporal frontal izquierdo, responsable de la producción lingüística y oral, de los movimientos de los órganos fonoarticulatorios y de la memoria, con la técnica de *estimulación magnética transcraneal* (Snyder et al.; 2006). Es importante observar que se desconecta la sección del hemisferio izquierdo, porque el síndrome del sabio se asocia básicamente con una disfunción izquierda del cerebro, mientras la derecha se utiliza para compensar. Además, el 50% de los savant son autistas, y el autismo se relaciona con el hemisferio izquierdo (Herbert et al.; 2005). En la prueba, se presentan al participante de 50 a 150 elementos discretos, con forma oval, distribuidos de manera uniforme en un monitor, durante 1.5 segundos. En uno de los exámenes en que participaron 12 estudiantes voluntarios —5 hombres y 7 mujeres, de 19 a 33 años de edad— de la Universidad de Sidney, 10 adquirieron una habilidad similar a los de los savant inmediatamente a la aplicación de la técnica TMS —calcularon exactamente el número de elementos—. De los 10 estudiantes, 8 disminuyeron sus habilidades una hora después, conforme el efecto de la técnica se diluía. En otra prueba el 40% de los voluntarios, en 15 minutos, desarrolló habilidades intelectuales extraordinarias que les permitió resolver, por ejemplo, complejos problemas matemáticos. Los resultados de estos experimentos son consistentes con otros previamente reportados en pruebas

de dibujo (Young et al.; 2004) y lectura (Snyder et al.; 2003). En estos casos, individuos que no tenían cualidades extraordinarias en estas áreas, obtuvieron estas habilidades después de ser tratados con la técnica TMS.

En 1871, Jevons mencionó que la mente era incapaz de contabilizar un gran número de objetos, y que sólo con la ayuda de la vista se podía enumerar a ellos. Estas observaciones tempranas fueron rebatidas en los últimos años (Colvin et al.; 2005; Feigenson et al.; 2004; Dehaene et al.; 2004), aunque hasta la fecha nadie ha podido explicar con exactitud la forma en que los savant contabilizan estos objetos. Una hipótesis es que este privilegio se deriva de información sensorial que se produce en zonas profundas del cerebro (Snyder et al.; 2006). Estas zonas pueden ser comunes a todos los individuos, pero no son normalmente accesible, a menos que se tenga disfunción cerebral, estados alterados de la mente o que se apliquen técnicas artificiales (Snyder et al.; 2003; Young et al.; 2004). Humphrey (2002) señala que la razón por la que estas zonas no son fácilmente accesibles es porque se encuentran detrás de la línea de la conciencia. Snyder agrega además que mientras los individuos normales tienen la tendencia de ver la escena como un todo, de agrupar los elementos discretos en un patrón útil, de tai forma que le podamos asignar un significado, los savant tienden a ver las partes como discretas y desconectadas. Snyder llegó a la conclusión de que Einstein y Newton, ambos autistas, no tenían un cerebro excepcional como todo el mundo pensaba, sino una parte dañada del mismo, que por una parte los inhibía para mantener actividades sociales normales, pero por otra los dotaba de una gran capacidad intelectual. Finalmente, cabe remarcar que si bien no existe aún una teoría que pueda explicar todos los casos de savant, es evidente que se ha obtenido más progreso en los últimos quince años, que en los pasados cien (Treffert, 2009).

9.1 SAVANT: UN POCO DE HISTORIA

Uno de los primeros casos detectados de savant —caso raro de savant— corresponde a Thomas Fuller (1710-1790). Thomas, que nació en África en el año de 1710, en el área comprendida en lo que se conoce hoy en día como Benin y Liberia, fue enviado a América, como esclavo, a la edad de 14 años. Su propietaria, Elizabeth Cox, vivía en Alexandria, Virginia. Thomas, dada su excepcional habilidad para los números y la suma de progresiones geométricas, sin saber leer ni escribir, fue apodado rápidamente la *Calculadora de Virginia*. Fuller fue también una herramienta de los abolicionistas, que lo utilizaron de alguna forma para mostrar que los africanos negros no eran mentalmente inferiores a los blancos. Cuando Thomas Fuller falleció en 1790, el reconocido periódico *Columbian Centennial*, de Boston Massachusetts, publicó una nota[3] haciendo referencia a su extraordinaria habilidad numérica.

La primera descripción del síndrome del sabio en un artículo científico apareció, sin embargo, en la revista de psicología alemana, *Gnothi Sauton*, en 1783,

describiendo el caso de Jedediah Buxton (Treffert, 2009). Jedediah (1707-1772), un británico que no sabía escribir y tenía conocimientos muy limitados, era excepcional con los números y tenía una memoria prodigiosa. Buxton midió la superficie de Elmton, el pueblo en que vivía, simplemente caminado alrededor del mismo. Presentó la superficie exacta, no solamente en acres, sino también en pulgadas cuadradas. Entre los múltiples ejemplos de sus hazañas aritméticas se destaca el cálculo de un cuarto de penique duplicado 139 veces. El resultado expresado en libras es un número de 39 dígitos.

Treffert (2009) señala que el término *idiot savant* fue utilizado por primera vez para describir esta condición en el año de 1887, por Down, quien es conocido por la descripción del *síndrome de Down*. John Langdon Haydon Down, médico británico, utilizó el término *savant* derivado de *savoire*n francés, para reseñar a un individuo con extraordinaria memoria pero con defectos en el proceso de razonamiento. Durante los últimos años del siglo XIX y los primeros años del siglo XX, el término *idiota* se utilizaba para describir la condición de individuos que tenían un retardo mental agudo —ausencia casi total de actividad psíquica o intelectual— y cuyo coeficiente intelectual era menor a 24. Dado que los individuos reportados como casos de savant tenían un coeficiente intelectual superior a 40, el término *idiot savant* se dejó de usar y fue remplazado por el de *savant autista*. En los siguientes años, cuando las investigaciones avanzaron y se pudo observar que sólo el 50% de los savant son autistas y que sólo 1 de cada 10 autistas es savant, el término nuevamente se dejó de utilizar y se sustituyó por el de *síndrome del sabio* o *savant*, como se conoce hoy en día a individuos con esta condición.

9.2 LOS SAVANT MÁS FAMOSOS

La siguiente es una lista no exhaustiva de los individuos más conocidos del mundo entero que han sido diagnosticados con el síndrome del sabio:

- Kim Peek, 1951. Americano residente en Salt Lake City, Utah, memoria extraordinaria, un verdadero GPS humano, famoso a partir de la inspiración a Duftin Hoffman en la película *Rain Man*. Kim, conocido como *Kimputer* por sus amigos, nació con macrocefalia —daño permanente en el cerebelo —, agnesia de cuerpo calloso y se estima que tiene el síndrome genético FGS, *Opitz-Kaveggia syndrome*, relacionado con el cromosoma X. Peek tiene además dificultades para caminar y, en general, con la motricidad fina, por ejemplo, no se puede abrochar el botón de una camisa. En un examen para medir el intelecto, obtuvo un coeficiente intelectual de 73. Respecto a sus fabulosas habilidades, Kim es capaz de leer extremadamente rápido, dos páginas simultáneamente, una con cada ojo, en aproximadamente 8 segundos. Ha memorizado aproximadamente 12,000 libros, lo que le permite repetir en forma exacta cualquiera de ellos. El

tiempo que tarda en leer un libro es cercano a la hora. Almacena además un calendario exacto de 10,000 años en su cabeza, por lo que puede decir en forma instantánea el día de la semana en que una persona nació, dado como dato su fecha de nacimiento. Kim es considerado además como un GPS humano. Dado que recuerda todos los mapas de los Estados Unidos, puede decir exactamente cómo llegar a una ciudad cualquiera, o incluso a una dirección cualquiera de una ciudad cualquiera de los Estados Unidos. En *YouTube* el lector podrá disfrutar numerosos videos de Kim Peek.

- Leslie Lemke, 1952. Americano, ciego, capacidad extraordinaria para la música. Leslie nació con parálisis cerebral, en los primeros meses de vida tuvo problemas retinales, luego glaucoma, y sus ojos tuvieron que ser finalmente extirpados. Lemke no realizó movimientos, no generó sonidos y no mostró emociones durante prácticamente los primeros 7 años de vida, se paró por primera vez a los 12 años, y comenzó a caminar a los 15 años de edad. A los 16 años, después de haber escuchado por primera vez el *Concierto de Piano número 1 de Tchaikovsky* y sin nunca haber tomado una lección de plano, su madre lo encontró a media noche ejecutando con maestría la obra. A partir de ese día, Leslie dio numerosos conciertos en diferentes países del mundo y fue Invitado en varios shows en televisión —*CBC's Man Alive, CBS Evening News, 60 Minutes, ABC's That's Incredible!*, etc.—. En *YouTube* y en la página web de la *Sociedad Médica de Wisconsin* aparecen múltiples videos de los conciertos de Leslie.

- Stephen Wiltshire, 1974. Británico, autista, comenzó a hablar cuando tenía 9 años de edad, talento extremo para la arquitectura, puede realizar una obra exacta de un paisaje con sólo verlo una vez. En el año 2005, Stephen recorrió Tokio en helicóptero por espacio de 30 minutos. Siete días después reprodujo la ciudad en un gran lienzo de 10 metros. Desde esa fecha, Wiltshire ha dibujado, después de recorrerlas en helicóptero, las ciudades de Roma, Londres, Dubai, Jerusalén, Hong Kong, Frankfurt y Madrid. Stephen es un savant famoso, ha publicado cinco libros que se han convertido en *best sellers* (Drawings, 1987; Cities, 1989; Floating Cities, 1991; American Dream, 1993; Stephen Wiltshire 2008 Catalogue, 2008), tiene su propia galería de arte en Londres y ha aparecido en numerosos programas de TV, En la red se puede encontrar su página personal, las panorámicas de las ciudades y múltiples videos.

- Derek Paravlclni, 1979. Inglés, residente en Surrey, ciego, autista parcial, severos problemas de aprendizaje, excelso concertista de plano. Derek comenzó a aprender plano a los dos años de edad. Con sólo escuchar una canción por primera vez, podía reproducirla fielmente en el piano. A los 9 años de edad participó en el concierto público con la *Royal Philharmonic Pops Orchestra*, en *Barbican Hall*, en Londres. Su habilidad para reconocer sonidos es excelsa, Derek puede distinguir entre 20 notas que se

ejecutan en forma simultánea. En *YouTube* se pueden encontrar múltiples conciertos de este genio musical.

- Thristan Mendoza, 1989. Filipino, autista, virtuoso de la marimba y gran capacidad para las matemáticas. Tum-Tum como se lo conoce, fue diagnosticado con autismo a los 2½ años de edad. Aprendió marimba a los 5 años y desde esa fecha se ha convertido en un prodigioso de este instrumento musical. Ha recibido numerosos premios en todo el mundo. A los 10 años de edad, ya era casi un veterano con más de 120 presentaciones con los mejores instrumentistas, compositores y percusionistas de todo el mundo. Por otra parte, en los exámenes de habilidades mentales, Thristan ha obtenido un coeficiente intelectual entre 118 y 131, considerado como superior, aunque en la parte verbal el coeficiente intelectual es normal, con valores comprendidos en el rango de 100-110. En *YouTube* se pueden encontrar múltiples conciertos de Tum-Tum.

- Daniel Tammet, 1979. Británico, savant autista, posee una habilidad extraordinaria para las matemáticas, los lenguajes y la memoria. Daniel convive al mismo tiempo con habilidades fabulosas y ciertas discapacidades. Se convirtió en un savant a los tres años de edad después de un ataque epiléptico. En sus memorias, *Nacido en un día azul, Born on a blue day*, cuenta cómo la epilepsia, la sinestesia[4] y el síndrome de Asperger le han acompañado durante toda su infancia. Tammet cuenta con el récord del cálculo de los decimales de *Pl*, con 22,514 dígitos. Puede calcular en un instante 377 × 795. Dice Tammet: *cuando multiplico números no hago cálculos, veo dos formas* y *una tercera emerge —el resultado—. Es como hacer matemáticas sin tener que pensar*. En su mente los números tienen una única forma, color, textura y emoción. Describe al número 289 como feo, al 333 como atractivo ya *Pl* como hermoso. Respecto al lenguaje, habla perfectamente inglés, francés, alemán, español, lituano, islandés, finlandés, rumano, estonio, galés y esperanto. Además ha desarrollado su propio lenguaje: Mänti. Allan Snyder, Director del Centro para la Mente y Profesor de la Universidad de Sidney, en Australia, señala que Tammet es una savant particular. La mayoría de los savant no pueden explicar las cosas que hacen, mientras que Daniel puede describir todo lo que ve en su cabeza. (Johnson, 2005). En la red se puede encontrar su sitio oficial, conocido como *Optimnem*, diferentes *blogs* y un gran número de videos.

- Matthew Savage, 1992. Americano, autista, extraordinario músico y compositor, entre sus talentos se encuentra la hiperlexia y el oído perfecto[5]. Matt, como se lo conoce, fue un niño prodigio que comenzó a leer antes de los 18 meses. A temprana edad formó el trío de jazz, *The Matt Savage Trio*, ha producido varios álbumes como *Hot Ticket: Uve in Boston*, ha ofrecido conciertos a jefes de Estado de todo el mundo, y ha aparecido

en varios programas televisivos como *Late Show with David Letterman, Late Night with Conan O'Brien, The Today Show*, y *All Things Considered*. En una entrevista que le hace Steve Silberman (2003), Matt le pregunta a éste la edad, Silberman responde: "23 de diciembre de 1957". "¡Ah!, fue un Lunes" agrega Matt. Cuenta que es amigo íntimo de los números, que vienen a él en sueños y lo inspiran para componer música. El tema *Forty-Seven*, del álbum *Groovin' on Mount Everest*, es un claro ejemplo de esta inspiración. En la red se puede encontrar su sitio oficial, savagerecords, savage photography, diferentes *blogs* y un gran número de entrevistas y videos.

- Orlando Serrel, 1968. Americano-africano, residente en Newport News, Virginia, habilidad extraordinaria para los números y los calendarios. Orlando era un niño común, sin ninguna habilidad especial, hasta que a los 10 años una pelota de béisbol golpeó fuertemente su cabeza, dañando su cerebro. En ese momento se convirtió en un savant, con una habilidad extraordinaria para los números, para calcular fechas, etc. Orlando ha aparecido en los últimos años en múltiples programas televisivos. En la red se puede encontrar su sitio oficial, así como varias entrevistas y videos.

- Richard Wawro, 1952-2006. Escocés, autista, discapacidad física, retraso mental, prácticamente sin lenguaje hasta los 11 años de edad, excepcional pintor. Richard comenzó a dibujar con crayones a los 3 años de edad, a los 12 sus dibujos fueron considerados por la profesora Marian Bohusz-Szyszko de la *Polish School of Art in London* como fenomenales, de precisión mecánica, y con una visión típica de poetas. Richard ha vendido más de 1,000 pinturas y realizado más de 100 exhibiciones. En la red de redes se puede encontrar su sitio oficial dedicado a su memoria, admirar cientos de sus pinturas, así como numerosas entrevistas y videos.

- Alonzo Clemons, 1958. Americano, residente en Boulder, Colorado, autista, escultor de animales. Alonzo sufrió un accidente de niño, que le causó graves daños cerebrales, dejándolo prácticamente discapacitado, su coeficiente intelectual se encuentra en el rango de 40-50. No obstante esta grave dificultad, Alonzo conservó su extraordinaria habilidad para la escultura de animales llenos de vida, extraordinaria exactitud en formas y bellos artísticamente. Clemons puede esculpir un animal en tres dimensiones, simplemente viendo una foto bidimensional. En la red se pueden observar decenas de sus esculturas, así como entrevistas y videos.

9.3 SOCIEDADES DE ALTO COEFICIENTE INTELECTUAL

Una *sociedad de alto coeficiente intelectual es* una organización que limita su membresía a individuos que tienen un muy alto percentil y cociente intelectual, en los exámenes de inteligencia como el *SB5* o el *WAIS-III*. Algunas sociedades tienen

incluso diseñados sus propios exámenes para decidir la elegibilidad de sus miembros. La sociedad más antigua es *Mensa International*, fundada en la Universidad de Oxford, en Inglaterra, por Roland Berriil y Lancelot Ware. El objetivo original de esta sociedad fue la creación de una sociedad de muy alto nivel intelectual —el coeficiente intelectual de los individuos se debe encontrar en el 2% más alto de la población mundial—, apolítica y libre de distinciones raciales y religiosas. Las sociedades de alto coeficiente intelectual tienen áreas específicas de interés como: poesía (Poetic Genius Society), música (Chorium), matemática y física (Milenija, Pi Society, GenerlQ Society), creatividad (ISI-Society y Vinci Society), actividades sociales (Mensa International), Individuos hispanoparlantes (Altacapacidadhispana, Neurocubo, Encefálica), etcétera.

Algunas de las sociedades más conocidas, agrupadas según el percentil de menor a mayor, son las siguientes:

- Top 5%; percentil 95th; 1/20; *Cl* = 124; población mundial estimada ≅ 325,000,000: *International High IQ Society*[6] (sociedad basada en Internet fundada en el año 2000 por Nathan Haselbauer. La única condición para pertenecer a la sociedad es tener un coeficiente intelectual mínimo de 124. El examen se puede realizar utilizando Internet).

- Top 2%; percentil 98th; 1/50; *Cl* = 130; población mundial estimada ≅ 130.000. 000: *Encefálica*[7] (el requisito para pertenecer a la sociedad es tener un *Cl* de 130 en WAIS-III, 132 en SB5, o 148 en Cattell. El objetivo de la sociedad es Incentivar el interés por participar en sociedades intelectualmente estimulantes dentro de la comunidad de habla hispana, contactar a alguno de los grandes pensadores del mundo entero para fomentar un intercambio cultural, ideológico y cognitivo, y crear un espacio de convivencia armónica y amistosa haciendo hincapié en las actividades intelectuales, filosóficas, espirituales y artísticas), *Mensa International*[8] (organización fundada en la Universidad de Oxford. El requisito para pertenecer a la sociedad es tener un *Cl* de 132 en SB5 o de 148 en Cattell).

- Top 1%; percentil 99th; 1/100; *Cl* = 135; población mundial estimada ≅ 65,000,000: *Intertel*[9] (fundada por Ralph Haines en 1966, es la segunda organización más vieja y la tercera más grande del mundo —1700 miembros en 30 países—. Su lema es participación y excelencia. El único requisito para ser miembro de la sociedad es tener un percentil de 99), *Top One Percent Society*[10] (fundada por el filósofo Ronald Hoeflin en 1989, la sociedad está dedicada a la estimulación intelectual y crecimiento de sus miembros. El requisito para pertenecer a la sociedad es tener un *Cl* de 135 en WAIS-III o de 137 en SB5. Cabe señalar que Hoeflin también ha fundado las sociedades *Prometheus, Epimetheus, Mega* y *Omega*).

- Top 0.7%; percentil 99.3th; 1/147; *Cl* = 137; población mundial estimada ≅ 44,217,687: *Sunesis Society*[11] (sociedad cristiana cuyos objetivos son promover la comunión entre cristianos que tengan un altísimo coeficiente intelectual, encontrar respuestas a problemas cristianos, conducir investigación para obtener conclusiones respecto al talento especial de cristianos, etc.).

- Top 0.5%; percentil 99.5th; 1/200; *Cl* = 139; población mundial estimada ≅ 32,500,000: *Colloquy*[12] (sociedad basada en Internet. La única condición para pertenecer a la sociedad es tener un percentil de 99.5 y un *Cl* mínimo de 139 en WAIS-III y de 141 en SB5. El objetivo de la sociedad es crear un foro en el que los individuos con una inteligencia superior puedan compartir pensamientos, experiencias y expresiones creativas. A partir de enero de 2006, el grupo mantiene discusiones a través de los grupos yahoo), *Poetic Genius Society*[13] (fundada por el Dr. Greg Grave en 1998, la sociedad busca integrar individuos con una pasión y talento especial por la poesía. Cualquier individuo con un coeficiente intelectual mínimo de 139 en WAIS-III o de 141 en SB5 puede ingresar).

- Top 0.3%; percentil 99.7th; 1/330; *Cl* = 141; población mundial estimada ≅ 19,696,970: *Cerebrals Society*[14] (fundada en 1999 por Xavier Jouve, la sociedad está caracterizada sobre la película *Beautiful mind*[15]. En agosto de 2009, la sociedad contaba con 263 miembros de todo el mundo).

- Top 0.2%; percentil 99.8th; 1/500; *Cl* = 143; población mundial estimada ≅ 13,000,000: *Exactiq High IQ Society*[16] (el objetivo de la sociedad es reunir individuos con una gran interés por los puzzles espaciales y los exámenes sobre inteligencia. Cualquier individuo cuyo percentil sea de 99.8, es decir se encuentre entre el 0.2% de la población, puede ingresar a la sociedad).

- Top 0.13%; percentil 99.87th; 1/750; *Cl* = 145; población mundial estimada ≅ 8,666,667: *CIVIQ Society*[17] (fundada en el año 2001 por el Dr. Evangelos Katsioulis, la organización busca integrar individuos con un muy alto coeficiente intelectual, 145 en WAIS-III o 148 en SB5. CIVIQ proviene del latín *civis*, *ciudadano*. Actualmente la sociedad cuenta con 110 miembros de diferentes países del mundo, de 18 a 79 años de edad).

- Top 0.1%; percentil 99.9th; 1/1,000; *Cl* = 146; población mundial estimada ≅ 6,500,000: *International High IQ Society Milenija*[18] (la sociedad de matemáticos y físicos busca integrar individuos con un muy alto coeficiente intelectual), *Triple Nine Society*[19] (la sociedad está comprometida con la amistad, la comunicación y la aventura de la exploración intelectual de sus miembros. Cualquier individuo cuyo percentil sea de 99.9, es decir se encuentre en el 0.1% de la población

mundial, podrá ingresar a la misma. La sociedad cuenta actualmente con 800 miembros de 30 países).

- Top 0.003%; percentil 99.997th; 1/30,000; *Cl* = 160; población mundial estimada ≅ 216,667: *Epimetheus Society*[20] (fundada por Ronald Hoeflin, la sociedad busca integrar individuos con un altísimo coeficiente intelectual), *Helliq Society*[21] (la sociedad, fundada por Evangelos Katsioulis en el año 2001, está dedicada a la aplicación de instrumentos científicos para identificar individuos con las más altas medidas de habilidades cognitivas), *Tetra Society*[22], *Platinum Society*[23] (el objetivo de la sociedad es promover el debate sobre temas científicos, filosóficos, culturales, educacionales, sociales, y cualquier otro propuesto por alguno de sus miembros).

- Top 0.001%; percentil 99.999th; 1/100,000; *Cl* = 164; población mundial estimada ≅ 65,000: *The intranet*[24] (fundada por Chris Langan y Gina LoSasso en el año 2000, la sociedad fue diseñada para fomentar la sinergia entre sus miembros y proporcionar un foro para el intercambio de información e ideas novedosas. El único requisito para ingresar es tener un *Cl* de 164).

- Top 0.0001%; percentil 99.9999th; 1/1,000,000; *Cl* = 172; población mundial estimada ≅ 6,500; *Mega Society*[25] (fundada por Ronald Hoeflin en 1982 para facilitar la investigación psicométrica. Esta es la sociedad más exclusiva, la que cuenta entre sus 26 miembros a los individuos con el mayor coeficiente intelectual sobre la Tierra).

- Top 0.0000001%; percentil 99.9999999th; 1/1’000,000,000; *Cl* = 196; población mundial estimada ≅ 7: *Giga Society*[26] (fundada en 1996 por Paul Cooiijmans, la sociedad cuenta en la actualidad con 7 miembros).

9.4 EL CI MÁS ALTO A NIVEL MUNDIAL: MARYLIN VOS SAVANT

Marilyn vos Savant, columnista, escritora y dramaturga americana, fue listada en el *Guinness Book of World Records* como el ser humano con el coeficiente intelectual más alto a nivel mundial. Miembro de las sociedades *Mensa International* y *Prometheus*, la historia de Marilyn es en cierto sentido muy particular ya que sus dos abuelas son *savant* Marilyn obtuvo la atención de la prensa cuando su coeficiente intelectual de 228 fue registrado en el libro *Guinnes*, atención que aprovechó para comenzar a escribir una columna semanal, *Ask Marilyn*, en la revista *Parade*, en la que resuelve puzzles de lógica y matemáticas, y contesta preguntas sobre filosofía, política, física y naturaleza humana.

El coeficiente intelectual de Marilyn ha sido calculado con los valores de 167, 186, 218, 228 y 230. La variación proviene de la forma de calcular el *CI* en los diferentes exámenes —*Stanford-Binet* y *Mega Test*— y las aproximaciones realizadas por la edad que tenía en el momento de aplicar los mismos. El coeficiente intelectual de 228, registrado en el libro *Guinnes*, fue obtenido cuando tenía 10 años de edad. La edad mental que arrojó el examen fue de 22 años y 10 meses. A mediados de los años ochenta, Marilyn vos Savant aplicó el examen *Mega Test* y en esta ocasión obtuvo un *Cl* de 186, en el percentil 99.999997, una rareza, ya que se estima que hay un individuo entre 30 millones con este coeficiente intelectual (Hoeflin, 1989). Las aseveraciones de que el *Cl* de vos Savant había disminuido con la edad parecen infundadas, ya que los valores pertenecen a diferentes tipos de coeficiente intelectual, obtenidos con exámenes distintos (Scoville, 2007).

9.4.1 EL PROBLEMA THE MONTY HALL

Un evento que involucró en un debate a Marilyn vos Savant fue una pregunta realizada a su columna, en 1990, sobre el problema *The Monty Hall*. Este es un problema matemático de probabilidad que está inspirado en el programa de concursos televisivo americano *Let's Make a Deal* que conduce *Monty Hall*, de ahí el nombre dado al problema. En el programa, un concursante debe elegir una puerta entre tres que se encuentran cerradas. En una de ellas hay un automóvil y en las otras dos, dos cabras. El premio consiste en llevarse lo que se encuentra detrás de la puerta elegida. Una vez que el concursante ha elegido una puerta y les comunica tanto al público como a Monty Hall su elección, el conductor televisivo, que conoce lo que hay detrás de cada puerta, abre una de ellas y muestra que detrás hay una cabra. En este momento le da la opción al concursante de cambiar, si desea, la puerta seleccionada. ¿Debe el concursante mantener su elección original o escoger la otra puerta? ¿Hay alguna diferencia? La pregunta ha generado un intenso debate ya que la respuesta correcta parece contradecir los principios básicos de probabilidad.

Marilyn señaló en su columna que hay que cambiar la decisión porque el concursante tendrá en este caso una probabilidad de 2/3, mientras que si mantiene la decisión original tendrá una probabilidad de 1/3. Un número considerable de académicos y matemáticos se han opuesto al señalamiento de Marilyn, subrayando su ignorancia sobre las matemáticas y los métodos científicos y/o su incapacidad para razonar con números y otros conceptos matemáticos, un principio que se conoce con el nombre de *innumeracy*. El debate ha sido tan intenso que varios artículos sobre el tema se han escrito en revistas académicas internacionales (Bapeswara-Rao & Rao, 1992; Bohl et al.; 1995) y una columna sobre el mismo apareció en la portada del periódico *The New York Times*, el 8 de abril de 2008.

La probabilidad de que el concursante seleccione en la primera oportunidad la puerta correcta —donde se encuentra el automóvil— es de 1/3, por lo que la

probabilidad de que el auto se encuentre en las otras puertas es de 2/3. La suposición equivocada, la que sostenían los académicos y matemáticos, era que una vez que quedaban dos puertas, cada una tenía el 50% de probabilidades de contener al automóvil. Sin embargo, esto es incorrecto porque el conductor televisivo abre la puerta después de la elección del concursante, lo cual no se debe considerar un suceso aleatorio ni inconexo. Si el conjunto de las puertas que no fueron seleccionadas tenían 2/3 de probabilidades y una de ellas ahora tiene una probabilidad de 0, entonces la otra puerta se queda con el 2/3 de probabilidades. Es por esta razón que el concursante debe cambiar su decisión. Marilyn finalmente tenía razón.

Una explicación matemática del problema Monty Hall es la siguiente:

- Llamemos a las tres puertas A, B y C.
- Elegimos la puerta A.
- El presentador elige la puerta B.
- La probabilidad de que el premio esté en la puerta X = P(X) = 1/3
- La probabilidad de que Monty abra la puerta B si el premio se encuentra escondido en la puerta A es: P(Monty abra B/A) = ½
- La probabilidad de que Monty abra la puerta B si el premio se encuentra escondido en la puerta B es: P(Monty abra B/B) = 0
- La probabilidad de que Monty abra la puerta B si el premio se encuentra escondido en la puerta C es: P(Monty abra B/C) = 1

Por lo tanto:

- La probabilidad de que Monty abra la puerta B es: P(Monty abra B) = P(A) * P(Monty abra B/A) + P(B) * P(Monty abra B/B) + P(C) * P(Monty abra B/C) = 1/6 + 0 + 1/3 = 1/2

Aplicando el Teorema de Bayes:

- P(A/Monty abra B) = P(A) * P(Monty abra B/A) / P(Monty abra B) = (1/6 /1/2) = 1/3
- P(C/Monty abra B) = P(C) * P(Monty abra B/C) / P(Monty abra B) = (1/3 / 1/2) = 2/3

En otras palabras, si el individuo selecciona la puerta A y Monty escoge la puerta B en la que se encuentra una cabra, la probabilidad de que el auto se encuentre en la

puerta C es 2/3. Por lo tanto, el individuo debe cambiar la puerta que seleccionó en primer término.

9.4.2 EL ÚLTIMO TEOREMA DE FERMAT

Otro evento que Involucró en un debate a Marilyn vos Savant fue *El último teorema de Fermat*, uno de los teoremas más importantes en la historia de las matemáticas. En 1637, Pierre de Fermat escribió:

> *Si un entero n es mayor a 2, luego la ecuación $a^n + b^n = c^n$ no tiene solución para a, b, y c, números enteros positivos.*

Ejemplos para n = 2 son $6^2 + 8^2 = 10^2$ y $3^2 + 4^2 = 5^2$. Fermat escribió: es imposible descomponer un cubo en dos cubos, un bicuadrado en dos bicuadrados, y en general, una potencia cualquiera, aparte del cuadrado, en dos potencias del mismo exponente. El problema permaneció sin resolver durante 357 años, hasta que una solución fue propuesta por el matemático británico Andrew Wiles, en 1993. Vos Savant mencionó que la prueba de Wiles debía ser rechazada por el uso de la geometría no-Euclidiana. Específicamente, argumentó que la cadena de la prueba está basada en geometría hiperbólica[27] o lobachevskiana[28] y dado que la cuadratura del círculo[29] es considerada una imposibilidad, luego si se rechaza el método hiperbólico del cuadrado del círculo, entonces también se debía rechazar la prueba del teorema de Fermat. En este caso, los matemáticos señalaron que existen diferencias entre el teorema de Fermat y la cuadratura del círculo, y además que la cuadratura del círculo en geometría hiperbólica es un problema diferente a la cuadratura del círculo en geometría euclidiana. Remarcaron asimismo que vos Savant desconoce la inducción matemática, las pruebas por contradicción y los números imaginarios. En 1995, vos Savant se retractó de su argumento diciendo que pensaba que el teorema de Fermat era un reto intelectual que se debería haber resuelto con las herramientas de Fermat, pero que está de acuerdo en que no existen restricciones sobre las herramientas que se pueden utilizar para demostrar el teorema.

Capítulo 10

LA CONCIENCIA Y LA MENTE: ¿PRODUCTOS DEL CEREBRO?

La mayoría de los investigadores de neurobiología, filosofía, psicología y ciencias cognitivas no consideraban a la *conciencia* como un tema de investigación científica unos años atrás. Las razones por las que no atacaban el problema eran diferentes dependiendo de la disciplina. Generalmente se veía a la conciencia como algo místico, abstracto, tabú y prematuro de estudiar en esos momentos. Las cosas, sin embargo, han ido cambiando en los últimos años, básicamente por la madurez de algunas ciencias que tratan con problemas del cerebro y la mente. Hay nuevos desarrollos teóricos, hipótesis y técnicas, que permiten estudiar en forma efectiva algunos procesos neuronales, que finalmente pueden arrojar alguna luz sobre las bases neurales de la conciencia.

Las palabras *conciencia* y *consciente* se han utilizado durante años en formas diferentes, con sentidos distintos, y a veces hasta para expresar ideas contradictorias. En realidad no hay aún una aceptación universal de la definición de conciencia, aunque existe un consenso de que implica procesos cognitivos interrelacionados. Algunos investigadores han empleado el término para señalar comportamientos inteligentes complejos, otros para expresar estados acerca de otros estados mentales, y algunos más para expresar el conocimiento que el espíritu humano tiene de su propia existencia. El adjetivo consciente se ha utilizado también tanto para referirse a organismos completos, *criaturas conscientes* —animal, persona o sistema cognitivo —, como a estados y procesos mentales particulares —estados conscientes—. La naturaleza de la conciencia, por otra parte, es el problema más desconcertante en las ciencias de la mente. No hay nada más esencial que la *experiencia consciente*, pero tampoco nada más difícil de explicar (Chalmers, 1995).

Existen múltiples definiciones de conciencia. Tomás de Aquino la definió como el acto por medio del cual los individuos aplicamos conocimiento práctico y moral a nuestras acciones; Locke habla de responsabilidad moral por los actos

conscientemente realizados, y Nietzsche la relaciona con una proposición filosófica de reconocimiento. En general, en la actualidad, mientras los filósofos consideran a la conciencia como la cosa más importante del universo, los científicos, en cambio, juzgan este término como aún demasiado difuso en significado.

Las propiedades de la conciencia varían de manera considerable de un caso a otro. Sin embargo, existen algunas propiedades que se presentan frecuentemente en algunas situaciones claves, cuando *experimentamos* algo, cuando tenemos una *experiencia interna*. Por ejemplo, cuando observamos una rosa blanca podemos gozar de la belleza de su blancura, deleitarnos con el dulce de su aroma o maravillarnos de la perfección de sus pétalos. Esta *experiencia* única, privada o en primera persona, subjetiva, cualitativa, dinámica, intencional y auto-organizada, describe y explica en definitiva el carácter irreductible del aspecto fenoménico de la conciencia.

Las primeras teorías o escuelas de pensamiento que tratan sobre la conciencia y el problema *mente-cuerpo* son el *dualismo*[1] y el *materialismo*[2], ambas desde la perspectiva de la *filosofía de la mente*. Mientras el dualismo sostiene que el estado mental consciente no es producido por medios físicos, el materialismo asegura que la mente es producida por el cerebro o por la actividad neuronal. Asimismo, mientras el materialismo no puede aún explicar cómo ciertos estados cerebrales son conscientes, el dualismo tampoco puede demostrar cómo una sustancia no física se conecta con el cuerpo físico del individuo. El dualismo además es motivado teológicamente y tiene una conexión innegable con la inmortalidad: si la mente no es física existe la vida después de la muerte del cuerpo. Ambas teorías, con aciertos y reproches, son las que han dominado el tema de la naturaleza de la conciencia, prácticamente, hasta los inicios del siglo anterior. Es importante observar que actualmente la conciencia es objeto de investigación en disciplinas como filosofía, psicología, neurociencias, ciencias cognitivas e inteligencia artificial, entre otras.

10.1 LA CONCIENCIA DESDE LA PERSPECTIVA DE LA FILOSOFÍA

La filosofía, por años, mantuvo una relación estrecha con la religión, tal como lo ejemplifica Descartes (1596-1650) en su teoría sobre la relación mente-cuerpo. La mente, la causante de la razón, se equiparaba con el alma, que distinguía al hombre de los animales. Descartes manifestaba que había dos tipos de substancias, la *pensante* —el alma— y la *extensa* —el cuerpo— Dado que el hombre es ambas a la vez, su planteo antropológico era el *dualismo*. Descartes definió la noción de pensamiento —*pensée*— en términos de conciencia reflexiva: *I understand all that of which we are conscious as operating in us*. La influencia de Platón y Aristóteles, *mente separada del cuerpo, sólo los humanos tienen alma*, ha permanecido

prácticamente hasta el siglo XVII, cuando el racionalista Baruch Spinoza mencionó que la mente y el cuerpo no son ontológica mente diferentes tipos de entidades.

Leibniz (1646-1716), filósofo, matemático, jurista y político alemán, uno de los tres grandes *racionalistas*[3] junto con Descartes y Spinoza, fue el primero en reconocer la existencia de estados mentales inconscientes. Crítico del materialismo, del *empirismo*[4] y del dualismo, aunque introdujo un interesante punto de vista respecto a la relación entre materia y pensamiento —consideraba que hay un único tipo de sustancia y que tanto la materia como la mente estaban compuestas de la misma sustancia—, creía en la naturaleza inmaterial de las sustancias mentales llamadas *mónadas*[5] y reconocía la existencia de percepciones inconscientes. Leibniz fue también el primero en distinguir entre percepciones y apercepciones, la diferencia que se discute justamente hoy en día entre conciencia y conciencia de sí mismo, *self-consciousness*, totalmente consciente de un propio estado mental o conocimiento reflexivo sobre un estado interno.

John Locke (1632-1704), padre del empirismo y liberalismo, dedicó especial atención al problema de la conciencia, así como al origen y fundamento del conocimiento, como lo demuestra su gran ensayo publicado por primera vez en 1690, titulado *An Essay Concerning Human Understanding* (Locke, 2009). Locke traza una línea divisoria con Descartes respecto a la religión, dado que considera a la misma como un asunto privado que afecta solamente la relación del hombre con Dios y no a las relaciones humanas. Locke sostenía que la primera fuente de conocimiento es la sensación o experiencia externa, fuente de todas las ideas, que se recibe a través de los sentidos, y que la segunda fuente es la reflexión o experiencia interna, que es la percepción que la mente tiene de su propia actividad mental. La identidad del individuo se hace posible al tomar éste conciencia de sí mismo. Es importante observar que prácticamente todo el pensamiento posterior sobre conciencia y conocimiento se deriva justamente del trabajo empírico de Locke.

Kant (1724-1804), en la misma línea que Locke, manifestaba que el conocimiento llega desde afuera por medio de los sentidos, pero el orden de esos conocimientos se determina por mecanismos internos de la conciencia, conocidos con el nombre de *actos* de *síntesis*. Kant (2000), en su obra *Crítica de la Razón Pura*, publicada en alemán en 1871, intenta la conjunción del empirismo y del racionalismo, las dos corrientes filosóficas que se centraban en el objeto como fuente de conocimiento. Kant considera que desde la perspectiva del empirismo el conocimiento se adquiere a través de la experiencia, mientras que los racionalistas estiman que tal conocimiento está abierto a dudas cartesianas, y que es la razón, en definitiva, la encargada de proporcionarnos el conocimiento. Kant argumenta que utilizar la razón sin experiencia —conceptos y percepciones— sólo guía a ilusiones, mientras que utilizar la experiencia sin dotarla de razón puede llevar a juicios subjetivos. *Concepts without intuitions are empty, intuitions without concepts are blind*. Kant sostenía que tanto en el empirismo como en el racionalismo se centraban en el objeto —lo que conocemos

— como fuente de conocimiento, en lugar de hacerlo en el *sujeto activo*, quien es el que construye el objeto con los aportes de la experiencia y la razón. Kant evidentemente defendía la autonomía del sujeto y afirmaba que la conciencia, característica central de la mente, es la suma e Integración de múltiples experiencias. La conciencia moral: *el reino de lo que debe ser*. Las ideas de Kant tuvieron una enorme influencia en sus sucesores y representan los fundamentos de la ciencia cognitiva.

Darwin (1809-1882), naturalista inglés, con la teoría de la evolución fue el que comenzó a modificar en parte, la forma en que los humanos se veían a sí mismo, la forma en que la filosofía *veía* a la conciencia. Los humanos y los animales no solamente compartían aspectos estructurales, sino conductuales, tal como la capacidad de expresar emociones (Salgado, 2003). Dobzhansky (1973) ejemplifica esta visión señalando que *nada en biología tiene sentido si no se analiza bajo la luz de la evolución*. Darwin fue en realidad quien de alguna forma revivió el movimiento del materialismo con la teoría de la evolución, e introdujo además la noción de que los animales tienen conciencia.

El Premio Nobel Henri Bergson**[6]** (1859-1941) apunta que los contenidos de nuestra conciencia —sensaciones, sentimientos, pasiones, esfuerzos— se captan de un modo peculiar, aparentemente están yuxtapuestos, diferenciados y cada uno con su singularidad. Mediante la inteligencia los pensamos como dispuestos espacialmente. Se trata de una penetración de lo exterior en el interior, de lo que es espacio-temporal en lo que es internamente vivido. Pero en lo profundo de la conciencia, en el *yo* interior, los estados de la conciencia se funden y organizan en una unidad que no es espacial, sino que posee las características de la duración. La aparente yuxtaposición y diferenciación de los estados de conciencia, tal como los describe la psicología asociacionista, es fruto de una distorsión operada por influjo del lenguaje y de la inteligencia, que están orientados a la acción y deforman la realidad espacializándola y anquilosándola en unidades discretas y estáticas. Esta tesis de la irreductibilidad de lo superior —la conciencia—, a lo inferior —sensación corporal—, o lo que es lo mismo, la irreductibilidad del espíritu a materia, emparenta a Bergson con las tesis espiritualistas. Bergson señala que *la memoria recoge y conserva todos los aspectos de la existencia, y que es el cuerpo, y especialmente el cerebro, el medio, el instrumento que permite recobrar los datos mnémicos haciendo aflorar recuerdos de forma concomitante a percepciones, o de forma más libre en los sueños*.

Sartre**[7]**(1905-1980), filósofo y escritor francés, seguidor de las teorías de Husserl, Marx y Heidegger, uno de los principales exponente del *existencialismo***[8]** y del marxismo humanista, crítico del *idealismo***[9]**, de la determinación inconsciente de Freud, agregó a la conciencia el concepto de intencionalidad. La *conciencia siempre es conciencia de algo*. Sartre señalaba que los objetos no están en la conciencia, éstos forman parte del mundo, y es la conciencia la encargada de tomar conciencia

posicional del mundo. La existencia es fundamental, es existencia consciente, y en el hombre precede incluso a la esencia, porque lo que nos definirá lo construiremos nosotros mismos. Sartre define, utilizando el primer principio del existencialismo, que el hombre no es otra cosa que lo que él se hace.

El filósofo contemporáneo Searle, por otra parte, considera a la *conciencia* como un fenómeno biológico: *El cerebro* es *real, la conciencia es real, el cerebro es espacial porque ocupa espacio, por lo tanto la conciencia también es espacial* (Searle, 2000). Searle define la conciencia como un conjunto de estados y procesos *cualitativos, subjetivos e integrados*. Cualitativo porque todo estado consciente tiene un sentimiento cualitativo. Subjetivo porque los estados conscientes sólo pueden ser *experimentados* por animales o personas. Integrado, porque por definición un estado consciente es un estado unificado. Searle (2000, 1992) llama a su teoría de la mente *naturalismo biológico*. Considera al naturalismo como el círculo intelectual que busca eliminar la religión, la trascendencia y la metafísica. El término biológico Involucra una ciencia actual, la biología. Searle considera que la conciencia y los fenómenos mentales —internos, subjetivos, intrínsecos, conscientes— existen pero son simplemente causados por procesos biológicos, neurológicos y/o físicos. Rechaza la teoría del *materialismo* básicamente porque niega la existencia de la conciencia, y la teoría del *dualismo* porque no explica la relación con el mundo material en el cual vivimos. Considera además que no existen motivaciones filosóficas, científicas o hechos obvios de la física para considerar la existencia de sustancias espirituales inmortales, excepto para la religión y la metafísica. Aunque, cabe aclarar, que no niega los cuestionamientos de la metafísica en cuanto a la materia y la cosmología, así como el valor de la ética y la estética. En realidad que alguien crea en Dios o simplemente tenga fe sin ninguna conexión con la ciencia, es algo que escapa totalmente a la teoría de Searle, aun cuando conoce las teorías filosóficas de Kant y Descartes que distinguen entre cuestiones de conocimiento y cuestiones de fe. Searle sostiene que el cerebro produce la mente, que el cerebro produce conciencia. El argumento central es que si el corazón es capaz de bombear sangre, el cerebro debería ser capaz de generar conciencia. Sin embargo, es importante observar que aún no explica *cómo* hace el cerebro para producir conciencia y cuáles son las propiedades involucradas.

Finalmente, el problema quizás más complicado sobre conciencia fue formulado recientemente por el filósofo australiano, especializado en filosofía de la mente, David Chalmers (1995, 1996): *cómo explicar un estado consciente en términos de bases neurológicas*. Chalmers argumenta que todas las formas de *fisicalismo* —sea reductlvo o no reductivo— que han dominado la filosofía y la ciencia en tiempos modernos fallan en los aspectos más esenciales de la conciencia. Chalmers (1997) argumenta que la conciencia es una característica no física de este mundo. La idea es simple: *la estructura física del mundo —la exacta distribución de partículas, campos* y *fuerzas en tiempo-espacio— es lógicamente consistente con la ausencia de*

conciencia; por lo tanto la presencia de conciencia es un hecho que va más allá de nuestro mundo. Chalmers sugiere una alternativa dualista, una modificación al dualismo, conocida como *property dualism, dualismo de propiedad*, que distingue entre problemas relativamente fáciles de conciencia y problemas complejos. Los problemas fáciles son aquellos cuyos fenómenos pueden ser explicados por medio de mecanismos neurales y/o computacionales. Los problemas complejos son aquellos que resisten esos métodos, como la *experiencia*. Cuando uno piensa y percibe, hay por una parte procesamiento de la información —problema fácil—, pero por otro, también un aspecto subjetivo: la experiencia. Por ejemplo, cuando uno ve, *experimenta* sensaciones visuales: *la experiencia de la luz o la oscuridad, la profundidad de un campo visual, etc*. Existe un amplio consenso de que la experiencia tiene bases físicas, pero aún no existe una buena explicación de *por qué* y *cómo* surge la experiencia (Chalmers, 1995). Un aspecto importante de su investigación radica en la distinción entre biología cerebral y comportamiento. Chalmers señala que hay una laguna que puede ser explicada entre estos dos sistemas y critica al fisicalismo por reducir básicamente todos los fenómenos a un solo principio. Chalmers define la conciencia como *un conjunto emergente de propiedades de muy alto nivel que surgen, pero son ontológicamente independientes, de las propiedades físicas del cerebro*. Esta es realmente la esencia de su tesis de *dualismo de propiedad*.

10.2 LA CONCIENCIA DESDE LA PERSPECTIVA DE LA PSICOLOGÍA

La conciencia, en psicología, se relaciona frecuentemente a *sentimientos de remordimiento* cuando un individuo realiza acciones que atenían contra sus valores morales y a *sentimientos de rectitud o integridad* cuando las acciones se ajustan a esas normas (May, 1983). Wilhelm Wundt (1832-1920), fisiólogo, psicólogo y filósofo alemán, fue el primero en desarrollar un laboratorio de psicología para estudiar la estructura de la conciencia. Wundt señalaba que era necesario superar las limitaciones del estudio directo de la conciencia utilizando métodos genéticos, comparativos, estadísticos, históricos y experimentales semejantes a los de las ciencias físicas para documentar, básicamente, aspectos del comportamiento humano. Su visión era prácticamente la de un científico que utiliza métodos experimentales para estudiar e investigar la conducta. Sólo de esta forma, decía, sería posible llegar a una comprensión de los fenómenos conscientes como *productos complejos de la mente inconsciente*. Wundt, padre de la psicología experimental, excluía la parte espiritual del individuo al asumir que el hombre no tiene alma. Wundt trabajaba sobre el mundo interior, los procesos psicológicos por medio de los cuales el ser humano experimenta y observa al mundo exterior. Su herramienta era la introspección, un proceso rígidamente controlado con medidas objetivas, tiempos de reacción y

asociación de palabras, en el que los individuos describían detalladamente las sensaciones y los sentimientos, dos elementos fundamentales de la vida mental.

Sigmund Freud (1856-1939), médico neurólogo austríaco, que exploró en forma profunda la psicología humana y concibió el psicoanálisis, fue otro de los grandes pensadores que más ha aportado al tema de la conciencia, en especial en el concepto de inconsciencia, de la mente inconsciente, dándole de alguna forma un estatus científico. Freud relacionaba conceptos de la mente cartesiana y de la hidráulica, trasladando los pensamientos y sentimientos reprimidos hacia el consciente para permitir al individuo la catarsis, experiencia que provoca finalmente la cura automática. Freud señalaba que la *psiquis* no se puede comprender sin un modelo espacial que represente distintas regiones con su modo propio de funcionamiento y sus mutuas relaciones. Freud distingue entre el *inconsciente*, el *preconsciente* y el *consciente*. Al *inconsciente*, la zona descubierta y explorada, lo define como el conjunto de representaciones latentes de las que tenemos algún fundamento para sospechar que se hallan contenidas en la vida anímica. En el inconsciente aparece también el concepto de *represión*, mecanismo de defensa, energía y/o esfuerzo que se ejerce, a fin de evitar que contenidos desagradables penetren en el consciente. El *preconsciente*, por otra parte, es el sistema situado entre el inconsciente y el consciente, separándole de aquél, la censura. El preconsciente designa una instancia del aparato psíquico constituido por los contenidos que no están presentes en el campo de la conciencia pero pueden devenir en conscientes. Es lo que podríamos llamar la memoria disponible, lo que somos capaces de recordar, que no es utilizable en el momento, pero que podemos traer a la conciencia cuando lo deseamos. Respecto a la *conciencia*, señala que no hace falta caracterizarla, pues coincide con la conciencia de los filósofos y del habla cotidiana. El trabajo de Freud se puede observar desde dos ángulos. Uno, el de sus seguidores, convencidos de que realizó valiosas aportaciones para la psicología humana. Otro, el de sus críticos, como Popper, Eisenck y movimientos feministas, que lo ven más como un filósofo que hace seudociencia, en contraste con la ciencia de Einstein en la teoría de la relatividad. Consideran además que sus obras pertenecen al dominio del pensamiento, de la mente y de la conducta humana.

Ya en el siglo xx, la psicología experimental de Wundt comenzó a declinar, principalmente en los Estados Unidos, por el surgimiento y las contribuciones de Skinner (1953) y Watson (1997b) a la teoría conductista. John Watson, fundado en las ideas de Pavlov y Thorndike, rechazaba teorías en las que intervinieran procesos mentales e ideas imprecisas. Watson sostenía que los eventos que debían ser estudiados eran las sensaciones, las percepciones y las imaginaciones, todos eventos dentro del cuerpo y particularmente del sistema nervioso. Skinner, por otra parte, sin negar que los eventos del sistema nervioso determinaran comportamiento, no estaba muy interesado en ellos porque consideraba que estaban condicionados por estímulos externos. Skinner fue el primero en desarrollar un artefacto, conocido con el nombre

de *Skinner box*, capaz de recolectar y registrar objetivamente datos de comportamiento. La influencia inicial del conductismo fue minimizar el estudio introspectivo de los procesos mentales, las emociones y los sentimientos, sustituyéndolos por el estudio objetivo de los comportamientos de los individuos en relación con el medio. En realidad, la visión del conductismo moderno es que la mente puede ser estudiada por el comportamiento del cuerpo (Blanshard, 1967). Watson señalaba que ideas y sentimientos que no producen eventos observables, no se deberían tomar en cuenta, ya que no son de interés de la ciencia. Skinner, por otra parte, manifestaba que los eventos que no son físicos sólo podrían tener una explicación de la ficción. Cualquier creencia de que la mente o la conciencia era irreductible a cambios observables en el cuerpo, eran considerados por él un anacronismo (Skinner, 1953).

En los años sesenta, tanto el conductismo de Watson y Skinner como la fenomenología de Freud se comenzaron a debilitar por las críticas de Chomsky tanto al empirismo como a la teoría conductista, y por el surgimiento de la *psicología cognitiva* que enfatizaba en el procesamiento de la información y la modelación de los procesos mentales internos —solución de problemas, memoria, lenguaje, etc.— implicados en la formulación del conocimiento. Inspirado en el trabajo de Piaget y Broadbent, el término psicología cognitiva fue acuñado por Neisser (1967, 1976). Broadbent fue en realidad el primero en relacionar el procesamiento de la información con el problema de la atención, en una época en que el conductismo era el paradigma dominante en psicología. Su libro *Perception and Communication* (Broadbent, 1958) fue clave para el desarrollo de la psicología cognitiva. Uno de sus experimentos más conocido es *dichotic listening*, un procedimiento comúnmente utilizado para investigar la atención selectiva en el sistema auditivo. A un individuo se le presentan, por ejemplo, tres pares de dígitos en forma simultánea en cada oído. El sujeto debe reportar lo que oyó. La mayoría de los participantes presentan los dígitos que oyen oído por oído, en lugar de hacerlo por pares como realmente lo reciben. Así, si el individuo recibió los dígitos 496 en un oído y 852 en el otro, enunciados de manera simultánea como 4 8-9 5 - 6 2, reporta generalmente 4 - 9 - 6 - 8 - 5 - 2, en lugar de mencionar 4 - 8 -9 - 5 - 6 - 2 como fueron pronunciados originalmente. Broadbent sugiere que nuestra mente puede ser concebida como un receptor de radio que recibe muchos canales al mismo tiempo, y el cerebro separa estos canales basado en características físicas. Neisser, por otra parte, definió la psicología cognitiva caracterizando al individuo *como un sistema dinámico de procesamiento de información, cuyas operaciones mentales pueden ser descritas en términos computacionales*. Neisser señala que la psicología cognitiva está relacionada prácticamente a toda la actividad humana y no con una fracción de ésta. Por lo tanto, un fenómeno psicológico se debe considerar como un fenómeno cognitivo.

10.3 LA CONCIENCIA DESDE LA PERSPECTIVA DE LAS CIENCIAS COGNITIVAS

Las *ciencias cognitivas*, el estudio interdisciplinario y multidisciplinario de la mente y de la inteligencia, tuvieron su origen intelectual cuando se comenzaron a desarrollar teorías de la mente basadas en los procesos computacionales y representaciones complejas. Las ciencias cognitivas, impulsadas por John McCarthy —matemático—, Marvin Minsky —matemático—, Herbert Simon —economista—, George Miller —psicólogo—, Allan Newell —psicólogo— y Noam Chomsky —lingüista—, coincidieron con el advenimiento de las primeras computadoras, la fundación del campo de la inteligencia artificial y los trabajos de lingüística generativa de Chomsky. Cabe señalar que la diferencia fundamental entre las ciencias cognitivas y la psicología cognitiva —tratada en la sección anterior— radica en que los algoritmos que simulan o imitan comportamiento humano se pueden implementar en una computadora. La hipótesis central en las ciencias cognitivas es que el pensamiento puede ser comprendido en términos de estructuras que se representan en la mente y procedimientos computacionales que operan sobre dichas estructuras. En la actualidad existen indudablemente discusiones, fomentadas principalmente por lo multidisciplinario del campo, tanto sobre la forma de la representación como de los procedimientos computacionales. Sin embargo, la mayoría de los investigadores, incluyendo los conexionistas, derivados de las redes neuronales artificiales, sostienen que la mente contiene representaciones mentales —reglas, proposiciones lógicas, imágenes, analogías, etc.— análogas a las estructuras de datos computacionales, y que los procedimientos computacionales del cerebro —deducciones, búsquedas, *matching*, recuperaciones, rotaciones, etc —son similares a los algoritmos computacionales.

Pentti Haikonen (2003, 2007) sugiere una arquitectura cognitiva *neuro-inspirada* para reproducir los procesos de percepción, imágenes, dolor, placer, diálogos interiores, aprendizaje, atención sensorial, evaluación de significados, motivaciones, emociones, así como las funciones cognitivas que se encuentran detrás de todos estos procesos. Haikonen sostiene que las funciones de alto nivel generadas por neuronas artificiales, *una máquina de procesamiento de significados no numérica*, será suficientemente compleja como para generar una máquina consciente de su propia existencia, de su contenido mental y que se perciba como inmaterial. Cabe agregar que Haikonen considera a la conciencia como *un estilo y forma de operación, caracterizado por representaciones de señales distribuidas, procesos de percepción, y habilidad para la retrospección*. Haikonen, en realidad, no es el único que señala que la conciencia surgirá espontáneamente en agentes autónomos neuro-inspirados (Doan, 2009).

Ron Sun (2006), por otra parte, propone una arquitectura cognitiva, *CLARION*, que explica la diferencia entre procesos mentales conscientes y procesos mentales

inconscientes. El proyecto de Sun tiene como objetivo el estudio de las estructuras fundamentales de la mente humana en una forma unificada, para de esta forma ofrecer también una explicación unificada de un gran conjunto de datos relacionados a la conciencia. *CLARION* también permite hacer predicciones cuantitativas y cualitativas respecto a la cognición en las áreas de memoria, aprendizaje, motivación, etc. Por último, cabe destacar que en la actualidad hay una gran cantidad de trabajo de las ciencias cognitivas relacionado con la conciencia, entre los cuales seguramente cuatro son los más relevantes:

a. *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*, de Howard Gardner (1985).

b. *Multiple Drafts Model of Consciousness*, una teoría fisicalista de la conciencia basada en el cognitivismo, de Daniel Dennett (1991).

c. *A Cognitive Theory of Consciousness*, de Bernard Baars (1993).

d. *Mind as a Machine: A History of Cognitive Science*, de Margaret Boden (2006).

10.4 LA CONCIENCIA DESDE LA PERSPECTIVA DE LA NEUROLOGÍA

La mayoría de los neurocientíficos coinciden en que la conciencia y la mente son producto del cerebro, es decir del sistema físico de neuronas y sus respectivas células y estructuras de apoyo. La conciencia, específicamente, es el resultado de la actividad neurológica electroquímica, un estado-dependiente de la propiedad de ciertos tipos de sistemas complejos, biológicos, adaptables y altamente interconectados (Koch y Mormann, 2010). Resta ahora por explicar la relación exacta entre lo inmaterial —estados mentales, mente consciente— y lo material —estados neuronales—, justamente las bases neuronales de la conciencia, un camino, sin duda, que demandará mucho tiempo para que se pueda recorrer.

El Premio Nobel Francis Crick[10] (1916-2004) señalaba que existen diferentes formas de conciencia —asociadas a la visión, al pensamiento, al dolor, o a una emoción— que utilizan un mecanismo común. Si se pudiera comprender el mecanismo para una de ellas, entonces se encontraría el camino para analizar y comprender todas las otras formas de conciencia. En sus investigaciones trabajaba fundamentalmente sobre la conciencia visual porque consideraba que la percepción visual es extremadamente rica en información. Otra ventaja adicional es que en muchos casos los experimentos sobre conciencia no se pueden realizar con humanos por cuestiones éticas, pero se pueden llevar a cabo con animales —a pesar de las críticas de los defensores de animales— como los simios o los macacos en particular,

porque tienen un sistema visual similar al de los humanos (Tootell et al.; 1996). Crick y Koch señalaban que la representación visual de la conciencia probablemente se encuentre distribuida entre una o más áreas de la corteza cerebral y sobre ciertas estructuras subcorticales (Crick y Koch, 1998). Para ser conscientes de un objeto o evento, el cerebro tiene que construir una interpretación *multinivel* —diferentes niveles en la jerarquía visual—, *explícita* -pequeños grupos de neuronas—y *simbólica* de la escena visual. Por lo tanto, estos grupos de neuronas deben ser del mismo tipo, por ejemplo células piramidales en un nivel o subnivel particular de la corteza, y deben estar localizadas en una misma región. Por ejemplo, si diferentes grupos de neuronas representaran la cara de una persona, si un grupo fuera dañado, el individuo sería incapaz de reconocer la cara en su totalidad, aunque podría observar partes de la misma como la nariz, los ojos o la boca. Hay otros lugares en el cerebro que explícitamente representan otros aspectos de la cara, tal como las emociones. Así, mientras la información necesaria para representar la cara se encuentra en las células glandulares de la retina, la representación explícita se encuentra en el cerebro.

Christof Koch y Florian Mormann sostienen que los mejores ejemplos de la conciencia se encuentran en los seres humanos sanos y de buen intelecto. En el sueño profundo, la conciencia cesa. Las pequeñas lesiones en el mesencéfalo y el tálamo puede conducir a una pérdida total de la conciencia, mientras que la destrucción de partes circunscriptas a la corteza cerebral puede eliminar aspectos muy concretos de la conciencia, como la capacidad de ser consciente de movimiento o para reconocer caras, sin necesariamente afectar la pérdida de la visión en general (Koch y Mormann, 2010).

Antonio Damasio (2000), por otra parte, uno de los más destacados neurólogos de la actualidad, sostiene que la conciencia es producto del cerebro, al mismo tiempo que admite que no se puede observar aún la forma en que trabaja. Señala que la manera de examinar cómo una sección del cerebro afecta la conciencia es analizar el comportamiento de los individuos que tienen daños específicos en esas zonas del cerebro. *Sólo cuando algunas partes del cerebro dejan de funcionar, uno puede aprender y reconocer sus propósitos biológicos*. Damasio ha podido demostrar cómo sentimientos emocionales involucran mapas del cerebro y cómo componentes del cerebro que se presume están involucrados con la conciencia, sufren alteraciones durante manipulaciones farmacológicas o en estados de anestesia. Damasio descompone el concepto de conciencia en lo que él llama *conciencia central* y *conciencia extendida*. La conciencia central consiste en el nivel de alerta del individuo en su relación con el *aquí* y *ahora*. Está presente en los niños y en los primates no humanos, no se relaciona con el pasado ni con el futuro. La conciencia extendida, en contraste, es la que normalmente atribuimos a los seres humanos, requiere memoria del pasado y permite anticipar al futuro. La conciencia extendida requiere de la conciencia central y ocupa una gran parte del cerebro, a diferencia de la primera que sólo ocupa una pequeña porción de éste.

En su libro *The Feeling of What Happens*, Damasio (2000) introduce diferentes casos de pacientes, que ayudan a comprender, según su perspectiva, cuándo la conciencia está presente y cuándo no. Muestra individuos en coma o con sueño profundo sin REM —*rapid eye movement*— como ejemplos de sujetos carentes de conciencia. Presenta también casos de epilépticos como una ocurrencia en la cual el individuo está aparentemente consciente pero sin su conciencia central. Aunque los individuos permanecen despiertos durante el ataque, sus acciones son completamente aleatorias y sin relación con el medio ambiente, por lo que señala que este tipo de comportamiento no constituye conciencia. Finalmente, presenta el caso de un Individuo que tiene amnesia global extremadamente severa. El daño en su cerebro es tan grande, que Incluso no puede recordar hechos que han ocurrido segundos atrás. Sin embargo, el Individuo puede interactuar con el aquí y el ahora. Damasio señala que este es un caso en que el sujeto tiene conciencia central, pero carece de conciencia extendida. Aunque no tiene la conciencia de los individuos normales, desde el punto de vista neurológico es considerado un ser humano consciente.

Damasio Introduce también un caso que ayuda a comprender la relación que se presenta entre las emociones y el razonamiento. Damasio explica que humanos con daños en la corteza prefrontal no *sienten emociones* y son incapaces de juzgar las consecuencias de sus acciones. Define una emoción**[11]** como una combinación de procesos mentales evaluados, simples o complejos, con respuestas a estos procesos, tanto en el cuerpo como en el cerebro. El cerebro monitorea en forma continua cambios en el cuerpo, y uno *siente* una *emoción* cuando experimenta tales cambios en yuxtaposición a las imágenes mentales que generaron el ciclo. En su libro *Descartes's Error*, Damasio (1995) describe el caso de Elliot, un paciente que tiene daños en la parte orbital de su lóbulo frontal. Es decir, la parte de la corteza cerebral que tiene una estrecha relación con el sistema límbico, que a su vez representa las expresiones emocionales. Elliot representa un caso muy peculiar porque obtiene excelentes calificaciones en exámenes de habilidades mentales, pero no es capaz de expresar ninguna emoción aún en situaciones extremas, ni de tomar buenas decisiones. Por ejemplo, no es capaz de conservar un trabajo ni tampoco de seleccionar un restaurante para comer. Su caso es importante porque contradice la sabiduría popular que siempre ha distinguido entre emoción y razonamiento. Damasio concluye que las emociones son necesarias para poder razonar.

Finalmente, es importante destacar que en la actualidad se están llevando a cabo diferentes experimentos que buscan correlacionar las neuronas con la conciencia visual. *Classical biindsight* es un experimento relativamente conocido entre los neurocientíficos para comprender los mecanismos de la visión consciente e inconsciente (Weiskrantz, 1997). Se realiza con individuos que tienen un daño serlo en el área cortical VI, que Impide que tengan una experiencia visual consciente en el campo visual correspondiente a la lesión. Los individuos siguen un rayo de luz —mueven sus ojos— a un cierto rango de velocidad y pueden indicar sus

desplazamientos —reaccionan ante estímulos invisibles—, pero al mismo tiempo niegan que ven algo. En cierto casos, incluso pueden determinar forma, color, dirección del movimiento y aún expresar emociones en sus caras (Lamme, 2006). Boyer además utilizando la técnica *TMS, transcranial magnetic stimulation*, ha inducido el fenómeno generando lesiones virtuales reversibles en individuos normales (Boyer et al.; 2005). Los resultados de este estudio revelan que en los pacientes normales no se pudo observar el fenómeno de *blindsight. Bistable percepts* es otro experimento y seguramente el más importante que se realiza para localizar las correlaciones neuronales de la conciencia, *neuronal correlate of consciousness, NCC*[12]. (Logothetis y Leopold, 1995). La Investigación se realiza con monos macacos para el estudio del comportamiento de neuronas individuales en el cerebro del animal, cuando éste se encuentra mirando algo que produce una doble percepción. Si la neurona se ilumina cuando el mono percibe el estímulo ante un campo visual constante, la neurona se considera parte de la *NCC*. Crick decía que en los próximos años se deben realizar más experimentos para poder descubrir cuáles son las neuronas que expresan conciencia en cada caso, cómo actúan y cómo se proyectan. Francis Crick también explicaba que es importante obtener una neuroanatomía de la conectividad de las neuronas en el cerebro —probablemente fácil de realizar con los macacos pero muy complicada con los humanos—, conocer el rol exacto de la corteza frontal en la percepción visual, y llevar la Investigación a la simulación directa de neuronas corticales.

10.5 LA CONCIENCIA DESDE LA PERSPECTIVA CUÁNTICA

La hipótesis de la *mente cuántica* considera básicamente que las leyes actuales de la física no pueden explicar completamente la conciencia y sugiere que los fenómenos cuánticos, como el *entrelazamiento* y la *superposición cuántica*, pueden desempeñar un papel fundamental en la función del cerebro y constituir además la base para una explicación de la conciencia. La *computación cuántica,* que surge de la unión entre las tecnologías de la información y la mecánica cuántica, utiliza las propiedades de superposición y entrelazamiento de los estados cuánticos. Se basa en el uso de *qubits* y en *puertas lógicas cuánticas* que permiten el desarrollo de algoritmos inéditos. El qubit, la unidad mínima de Información cuántica, consta de tres estados: *ket* 0, *ket 1* y *superposición cuántica*. Los dos primeros estados son similares a los de un bit clásico, el tercero es de superposición, puede ser ket 0 y ket 1 al mismo tiempo. Una puerta lógica cuántica, por otra parte, es un circuito cuántico básico que funciona sobre un número pequeño de qubits. La superposición cuántica es muy importante para la computación porque permite un paralelismo exponencial o un paralelismo cuántico en el cálculo. Con los bits convencionales —computación digital—, por ejemplo, si contamos con un registro de 3 bits, podemos tener ocho valores posibles y el registro sólo podrá tomar uno de esos valores. Si ahora consideramos en cambio un

vector de 3 qubits, con la superposición, la partícula adopta 8 estados cuánticos, que se pueden evaluar en paralelo. El número de operaciones crece en forma exponencial en función del número de qubits. En general, una máquina de n qublts, tendrá 2^n estados cuánticos simultáneos. Una computadora cuántica de 300 qubits, podría, por lo tanto, realizar $2^{300} \cong$ 2.04E+90 operaciones en paralelo, más del número de átomos observables en el universo. La computación cuántica ha generado, Indudablemente, una gran expectación, ya que algunos problemas que hasta hace poco tiempo se consideraban intratables ahora podrían ser tratables.

Roger Penrose (2005, 1996, 1989), un físico matemático reconocido por sus contribuciones a la relatividad general y a la cosmología, argumenta que las leyes conocidas de la física son inadecuadas para explicar el fenómeno de la conciencia en los humanos. El argumento tiene como base el teorema de la incompletltud de Gödel, que trata sobre imposibilidad de una demostración formal de una cierta proposición matemática, aunque pudiera ser verdadera. En su libro *The Emperor's New Mind: Computers, Minds and the Laws of Physics* (Penrose, 1989), construye un argumento controversial sobre el tema y demuestra, de alguna forma, la imposibilidad de construir una mente computacional. Penrose argumenta que el teorema mostró que el cerebro tiene la habilidad para ir más allá de lo que puede ser demostrado por los axiomas matemáticos, y por lo tanto, hay algo en el sistema del cerebro que no se encuentra basado en algoritmos. Penrose sostiene que la conciencia es el producto psíquico resultante de procesos físicos que no son computables, y por lo tanto, imposibles de ser simulados en una computadora. En consecuencia, si el hombre piensa en forma no algorítmica, una computadora no puede simular integralmente la mente humana. Este artefacto para que exhiba inteligencia debería trascender los límites de los sistemas lógicos formales.

Roger Penrose (2005) y Stuart Hameroff (2007), un anestesista conocido por promover el estudio científico de la conciencia, consideran que la mente y el cerebro son dos entidades separables. La conciencia humana es el resultado de efectos cuánticos en los *microtúbulos*, una estructura conexa de múltiples qubits, capaz de procesar cuánticamente la información. Un microtúbulo es en realidad una estructura tubular formada por un tipo de proteína, conocida como tubulina *α* y *ß*, que presenta un doble estado, según la disposición de sus electrones, permitiendo un estado cuántico. La conciencia es un proceso que se origina en el interior de las neuronas cuando la función de onda cuántica se colapsa por sí misma en una *reducción objetiva orquestada*[13], *Orch OR*. El modelo Penrose-Hameroff, conocido también como *Orch OR* (Hameroff y Marcer, 1998; Hameroff y Penrose, 1996), modelo científico especulativo, supone que la información física del medio queda registrada cuánticamente en las tubulinas. El *entrelazamiento cuántico*[14] entre las tubulinas del microtúbulo permite, por la llamada *condensación de Fröhlich*[15] o *la condensación Bose-Einstein*[16], la formación de estados *macroscópicos de coherencia cuántica*[17]. Al procesar la información cada microtúbulo incrementa su nivel de coherencia,

siempre protegido de las perturbaciones del entorno, hasta que media la *transición cuántica-clásica*[18] descrita por el proceso de reducción objetiva orquestada. De esta forma, se genera un estado consciente.

Phillip Tetlow (2007), en su nuevo libro *The Web's Awake*, señala que las ideas de Penrose respecto a la conciencia y el proceso de pensamiento humano no son muy aceptadas en la comunidad científica. El principal argumento en contra de la proposición de la mente cuántica de Penrose es que la estructura del cerebro es demasiado grande para que los efectos cuánticos, como superposición y entrelazamiento, tuvieran importancia. Max Tegmark (2000) sostiene además que los resultados obtenidos en sus experimentos le permiten inferir que los sistemas cuánticos en el cerebro *decoheren*[19] rápidamente, y por esa razón no pueden controlar las funciones cerebrales. Ray Kurzweil señala recientemente que la única justificación para la conjetura de Roger Penrose y Stuart Hameroff es que la conciencia es un misterio y la mecánica cuántica también, por lo que pudiera existir una relación entre ellas.

10.6 LA CONCIENCIA DESDE LA PERSPECTIVA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial, casi desde sus inicios, ha considerado la posibilidad de construir artefactos —máquinas y/o software— conscientes utilizando componentes no biológicos. Recordemos el optimismo que manifestaban en aquella época pioneros del área como Herbert Simon —*machines will be capable, within twenty years, of doing any work that a man can do* (Crevier, 1993)— y Marvin Minsky —*within a generation… the problem of creating artificial intelligence will substantially be solved* (Crevier, 1993) —, entre otros. Haugeland (1989), unos años después, mostró un entusiasmo similar cuando definió el concepto de inteligencia artificial como: *La interesante tarea de lograr que las computadoras piensen… máquinas con mente, en su amplio sentido literal*. En los últimos años, por otra parte, se ha observado un creciente y renovado interés en investigadores que se han enfocado específicamente en el campo de *conciencia artificial*, conocido también con el nombre de *conciencia sintética* o *máquinas conscientes*, con la intención de reproducir fundamentalmente características relevantes de la conciencia humana utilizando componentes no biológicos. Por una parte, los investigadores intentan conocer la naturaleza de la *experiencia consciente*. Por otra parte, se intenta descubrir el rol de la conciencia en el control y la conducta de un agente.

Es importante observar también que buena parte del debate sobre artefactos conscientes fue propiciado tanto por experimentos propuestos —*Prueba de Turing*, *La Sala China* y *El proyecto de la prótesis cerebral*— como por posiciones críticas respecto a la Inteligencia artificial, como *inteligencia artificial débil e inteligencia artificial fuerte*. La Prueba de Turing, por ejemplo, el procedimiento desarrollado por

Alan Turing (1950) para demostrar la existencia de inteligencia en una máquina, ha provocado intensos debates filosóficos. Mientras Douglas Hofstadtery Daniel Dennett (1981) argumentan que cualquiera que supere la prueba de Turing es necesariamente consciente, David Chalmers (1997) señala que un *zombie filosófico*[20], *conocido también como p-zombie o p-zed,* podría superar fácilmente la prueba sin tener conciencia. John Searle, asimismo, en el experimento de *La Sala China,* una réplica a la *Prueba de Turing*, agrega que existe una gran diferencia entre *simular una mente* y *tener realmente una mente. Sin comprensión, lo que los filósofos llaman intencionalidad, no se puede aceptar que lo que la máquina realiza es pensar, y si no puede pensar entonces no se puede considerar como una mente, independientemente de lo que muestre su comportamiento*.

La *inteligencia artificial fuerte* y la *inteligencia artificial débil* representan asimismo dos posiciones en el estudio de la conciencia que han polarizado gran parte del debate en círculos científicos y filosóficos. La primera posición, *inteligencia artificial fuerte*, sostiene que la mente humana será reproducible por medios artificiales, y que las máquinas, en el futuro próximo, podrán pensar y serán conscientes de sus acciones. Kurzweil (2006) define la inteligencia artificial fuerte como *una máquina inteligente con el rango completo de inteligencia humana*. Hans Moravec y Ray Kurzweil, entre otros, señalan que en los próximos años será tecnológicamente factible copiar el cerebro humano directamente en software y hardware, y que tal simulación será esencialmente idéntica a la original. La otra posición, conocida con el nombre de *inteligencia artificial débil*, sostiene que la máquina sólo podrá imitar una *conducta* o simular la mente humana, pero nunca podrá *pensar, sentir* y ser *consciente* de sus acciones. Searle (1980) en un intento por analizar las implicaciones psicológicas y filosóficas relacionadas con los esfuerzos por simular en una computadora la capacidad cognitiva humana, considera que desde la perspectiva de una IA débil, el principal valor de una computadora en el estudio de la mente, es que proporciona una herramienta muy valiosa. Por otra parte, desde la perspectiva de una IA fuerte, la computadora no se puede considerar como una herramienta en el estudio de la mente, *porque es la mente*. John Searle señala que no tiene objeciones con una IA débil. Su discusión y sus argumentos están dirigidos a una IA fuerte, que afirma que los programas serán estados cognitivos que podrán explicar la cognición humana. Searle dice que en todo caso, los programas realizarán funciones, pero nunca podrán comprender. Los defensores de la *inteligencia artificial fuerte*, por otra parte, también esgrimen argumentos en defensa de su posición, aunque algunos quedan prácticamente supeditados a la interpretación y significado que le damos a las palabras y conceptos. Por ejemplo, si la puerta de un auto se abre cuando llega su dueño, algunos podrán sostener que el auto comprende, reconoce a su dueño y por eso le abre la puerta. Otros, en cambio, afirmarán que es una celda fotoeléctrica la encargada de abrir la puerta luego de un reconocimiento de patrones, y por lo tanto, el auto no entiende ni comprende nada.

10.6.1 CONCIENCIA ARTIFICIAL

La actual generación de artefactos —software y máquinas— de interacción hombre-máquina presenta, sin duda, avances impresionantes respecto a la mecánica y el control de los movimientos. Sin embargo, sus capacidades son aún limitadas en lo que respecta a la percepción, el razonamiento y la acción, principalmente en medio ambientes poco estructurados y novedosos. Evidentemente, una nueva generación de artefactos que pueda interactuar con otros artefactos y/o seres humanos en un ambiente sin restricciones necesita conocimiento de su entorno y de los objetos y agentes que en él se encuentren. En definitiva, esta nueva generación de artefactos requiere de alguna forma de *conciencia artificial*[21].

Un acontecimiento relevante en la muy corta historia de este campo de estudio, *conciencia artificial*, fue la reunión organizada por el neurocientífico Christof Koch, el filósofo David Chalmers, el científico Rodney Goodman y el robótico Owen Holland, en el año 2001, en *Cold Spring Harbour Laboratories*, patrocinado por la *Fundación Swartz*. El tema principal de la reunión fue: *¿podrán las máquinas ser conscientes?* Igor Alexander señala que, aunque hubo muy poco acuerdo entre los asistentes, integrado básicamente por neurólogos, filósofos y científicos de la computación, sobre definiciones precisas de la conciencia, se logró el acuerdo sobre la siguiente proposición: *No hay ninguna ley conocida de la naturaleza que prohíba la existencia de sentimientos subjetivos en los artefactos diseñados o desarrollado por los seres humanos*.

Ricardo Sanz (2005) señala que existen al menos tres motivaciones significativas para lograr la conciencia artificial: a) diseñar y desarrollar máquinas que se asemejen a seres humanos —robótica cognitiva—, b) comprender la naturaleza de la conciencia, y c) diseñar y desarrollar sistemas de control más eficientes. Alexander (1995), por otra parte, manifiesta que este nuevo campo, asociado principalmente a la robótica cognitiva, tiene como objetivo definir lo que se debe *sintetizar* para que podamos observar conciencia en artefactos ingenieriles. Alexander sugiere doce principios fundamentales para lograr conciencia artificial:

a. Cerebro como una máquina de estados.

b. División Interna de las neuronas.

c. Estados consciente e Inconsciente.

d. Aprendizaje perceptual y memoria.

e. Predicción.

f. Conciencia de uno mismo.

g. Representación del significado.

h. Aprendizaje de expresiones.

i. Aprendizaje de Idiomas.

j. Voluntad.

k. Instinto.

l. Emoción.

Owen Holland (2003), en años recientes, estableció también la diferencia entre *conciencia artificial débil* y *conciencia artificial fuerte*. Define la primera como el diseño y construcción de máquinas que simulan conciencia o procesos cognitivos usualmente correlacionados con conciencia. Asimismo, define conciencia artificial fuerte como el diseño y construcción de máquinas conscientes. La mayoría de los investigadores de inteligencia artificial se inclinan por la primera definición. De todas formas, los límites, en la actualidad, entre ambas posiciones son difíciles de establecer. Por ejemplo, si una máquina exhibe el comportamiento que nosotros los humanos asociamos con conciencia, ¿le podríamos negar el estatus de máquina consciente? (Chella y Manzotti, 2007).

Finalmente, cabe señalar que en la actualidad hay algunas áreas que cooperan y compiten fundamentalmente con el objeto de trazar el marco de este nuevo campo de conocimiento. Las áreas no son independientes y se esfuerzan por alcanzar un alto nivel de integración (Chella y Manzotti, 2007):

a. *Realización*. La realización —hacerlo concreto y perceptible—, *embodiment*, el comportamiento que surge de la interacción entre la mente, el cuerpo y el mundo, trata sobre: a) *symbol grounding* (Steels, 2007; Gienberg y Robertson, 2000; Harnad, 1990): se relaciona con el problema de cómo las palabras obtienen su significado y lo que el significado realmente representa. Es decir, la Interpretación de un sistema formal de símbolos intrínseca al sistema; b) *anchoring* (Chella et al.; 2008): describe la tendencia en general de los individuos a depender demasiado —anclar— de un razgo o una pequeña porción de la información cuando se toman decisiones. El sesgo cognltlvo se produce cuando uno se concentra demasiado en un aspecto del evento, causando un error en la predicción por no concentrarse en los aspectos fundamentales del mismo; y c) *intencionalidad* (Chrisley et al.; 2008; Freeman, 1999): término Introducido por Bentham y más tarde utilizado por Husser con el propósito de distinguir en el campo de la conciencia entre actos que son Intencionales y aquellos que no lo son. Trata justamente sobre la dirección —a lo que apuntan— de los estados

mentales: cosas, objetos, acontecimientos, etc. En definitiva, sobre el objeto, cosa o acontecimiento sobre el que uno está pensando.

b. *Simulación y representación*. Trata básicamente sobre la *fenomenología sintética, synthetic phenomenology* (Chrisley y Parthemore, 2007; Aleksander & Morton, 2007; Gamez, 2005), desarrollando modelos de imágenes mentales, atención y memoria de trabajo. El término *fenomenología* tiene una tradición filosófica y se caracteriza por explorar y estudiar *lo que aparece* en la conciencia, la cosa o el objeto en el que se piensa, del que se habla, en síntesis, de *la* constitución de la conciencia. El término *sintético*, por otra parte, se utiliza para *indicar que es* la *fenomenología de* sistemas artificiales. Uno de los principales objetivos de la fenomenología sintética es desarrollar estados artificiales conscientes.

c. *Medio ambiente o externalismo*. Es una posición en filosofía de la mente que sostiene que la mente no sólo es el resultado de lo que ocurre dentro del cerebro, sino también de lo que ocurre en el exterior. El área básicamente se enfoca principalmente en la integración entre el agente y su medio ambiente (Nöe, 2009; Nöe, 2005; Drestke, 2000; Clark y Chalmers, 1999).

d. *Teoría de control extendida*. Chella y Manzotti sostienen que existe actualmente un traslape entre la teoría de control y los sistemas complejos, y el rol que desempeñan en la conciencia artificial (Chella y Manzotti, 2007). Un enfoque fructífero para el estudio de la conciencia artificial podría ser el de la *teoría de control extendida* que Incorpore características de conciencia y extrapole esta visión al mundo de los sistemas artificiales (Sanz et al.; 2007; Kozma et al.; 2007). La teoría de control extendido se asocia, de alguna forma, al concepto de *auto-conciencia*, *self-consciousness*, la preocupación por uno mismo, en oposición al estado filosófico de la conciencia de sí mismo, que es la conciencia de que se existe como un ser Individual.

10.6.2 CONCIENCIA ARTIFICIAL: CASOS DE ESTUDIO Y EXPERIMENTOS

En esta sección se describen básicamente algunos casos de estudio y experimentos relacionados con el concepto de conciencia artificial. Las arquitecturas cognitivas de Haikonen y *CLARION*, ambas relacionadas con el campo de conciencia artificial, fueron presentadas previamente en la sección 10.3.

a. *IDA y LIDA*. El primero, IDA, es un agente inteligente diseñado por Stan Franklin (2003), en la Universidad de Memphis, que sigue varias de las

funciones de conciencia identificadas por Baars (1997) en su modelo *global workspace theory, GWT*. El modelo de Baars es una arquitectura cognitiva que trata cualitativamente con procesos conscientes e inconscientes. Se basa en la suposición de que en la *memoria de trabajo* hay muchos procesos inconscientes que compiten entre sí y generan un resultado en un espacio de trabajo global. El modelo *informa* de este resultado —el proceso ganador— a todos los procesos inconscientes que influyen en sus estados posteriores. Es justamente este *informe* el que, según Baars, constituye el hecho consciente. IDA, una implementación computacional de GWT, realiza la tarea de negociar las nuevas asignaciones para los navegantes de la Marina de los Estados Unidos, después de terminar un turno de servicio, combinando las habilidades de cada individuo, así como las necesidades y preferencias tanto de los marineros como de la Marina. IDA interactúa con bases de datos de la Marina y se comunica con los marineros utilizando lenguaje natural por medio de un correo electrónico. El marinero, en definitiva, percibe que su asignación se deriva de un proceso de negociación y deliberación consciente. LIDA (Baars y Franklin, 2009), por otra parte, una implementación del modelo GWT, es un sistema cognitivo artificial que intenta modelar un amplio espectro de conocimiento en los sistemas biológicos, desde percepción y acción de bajo nivel hasta razonamiento de alto nivel. LIDA también se presenta como una herramienta que permite pensar sobre cómo funciona la mente, proporcionando explicaciones plausibles para muchos de los procesos cognitivos involucrados.

b. *Los robots auto-conscientes de Takeno*. Junichi Takeno (2010) trabaja en la Universidad de Meiji, en Japón, sobre el concepto de auto-conciencia en los robots —conciencia de uno mismo—, Takeno señala que los robots que han diseñado ya son capaces de reconocer la imagen de ellos mismos en el espejo y distinguirla de cualquier otra imagen idéntica. El sistema central del robot primero llama a una función de autoconocimiento conocida como *NoMaD* y luego *construye* la conciencia artificial mediante la formulación de relaciones entre las emociones, los sentimientos y la razón, conectando módulos jerárquicos (Igarashi et al.; 2007). Takeno también demostró que los robots pueden estudiar episodios en la memoria vinculados a emociones, y pueden utilizar esta experiencia para tomar medidas de predicción para evitar la repetición de emociones desagradables.

c. *Robots conscientes*. Owen Holland (2007), de la Universidad de Essex, es el primer investigador que ha recibido fondos[22] del *Consejo de Investigación de Ciencias Físicas e Ingeniería*, del Reino Unido, para realizar investigación sobre *robots conscientes*. La pregunta de tipo constructivista que define el proyecto es: *¿cómo diseñar un robot*

consciente? El principio fundamental de Holland es la construcción de una estructura esquelética similar a la de un ser humano que se adapte al mundo real y un modelo virtual interno del mundo real que le permita interactuar con éste o en éste por medio de un pensamiento consciente. Holland incorpora además su propio punto de vista al área de máquinas conscientes, al que define como una mezcla de conceptos débiles y fuertes, un área en la que se puede realizar diferentes incursiones para comprender el concepto de conciencia y en la que se pueden construir máquinas cada vez más competentes.

d. *El experimento de la prótesis cerebral*. El experimento, introducido por Clark Glamour, tratado por el filósofo John Searle (1980) y asociado principalmente al trabajo del investigador robótico Hans Moravec (1988), dice lo siguiente: *Consideremos que los avances de la neurofisiología son tales que permiten comprender tanto la entrada y salida, como la conectividad de todas las neuronas del cerebro. Supongamos también que somos capaces de construir dispositivos electrónicos microscópicos capaces de imitar la conducta de estas neuronas y conectarlas en el tejido neuronal. El experimento consiste en reemplazar gradualmente todas las neuronas del cerebro por estos dispositivos> electrónicos y luego invertir el proceso para devolver al sujeto a su estado biológico normal* (Russel y Norvig, 2003). El punto de discusión del experimento radica en lo que sucederá con la *conciencia* del individuo, sus experiencias internas y externas, durante la operación y después de ésta. Existen obviamente enfoques intuitivos diferentes. Moravec, con un punto de vista *funcionalista*[23], sostiene que la conciencia del individuo no se vería afectada porque la única propiedad significativa de las neuronas es su conducta de entrada y salida. Searle, en cambio, señala que la conciencia del individuo se esfumaría, pero su conducta observable continuaría siendo la misma. El suyo, para este problema en particular, es un punto de vista *epifenoménico*[24], en el sentido de que algo ocurre pero sin repercusiones en el mundo observable. El debate de este experimento no radica en determinar si en el futuro tendremos cerebros artificiales, sino si este tipo de cerebros tendrá conciencia.

10.6.3 EL EXPERIMENTO DE LAS SUSTANCIAS ESPIRITUALES

El experimento de las sustancias espirituales se encuentra fundamentalmente relacionado al tema de la conciencia y al problema de la dualidad mente-cuerpo. El problema es fácil de entender, pero difícil de solucionar. Un individuo, el receptor, recibe mediante una operación bioelectrónica, el *cerebro* de otro individuo, el donador. El objetivo del experimento consiste básicamente en analizar lo que ocurrirá con la conciencia de ambos individuos, el donador y el receptor. Observe el lector

que hablamos de *trasplante del cerebro*, y por lo tanto no debe ser confundido con el trasplante de cabeza[25], que ya se ha realizado con éxito limitado en perros, simios y ratas. En el caso de seres humanos, el trasplante de cabeza no puede ser realizado aún, porque no existe la tecnología para unir la médula espinal. Se están realizando estudios con *células madres*, pero aún no se han obtenido resultados satisfactorios en las terapias. En la actualidad, si se realizara una cirugía como la descrita, el individuo quedaría tetrapléjico. Es importante observar por otra parte que, si en algún momento estuviera la tecnología disponible, muchos Individuos pudieran ser candidatos para el trasplante. Por ejemplo, los cuadripléjicos, los enfermos de cáncer de pulmón, hígado, páncreas, etc., los que tienen una enfermedad genética, como distrofia de músculos, los diabéticos que ven afectado su páncreas e hígado, etc. La ética de tales procedimientos aún no ha sido discutida.

El experimento del *trasplante de cerebro* dice lo siguiente: Supongamos que nos encontramos en el futuro en el año 2050, en un mundo muy diferente al actual, en la época de la singularidad tecnológica, de gran aceleración, conviviendo con robots humanoides, ciberorganismos[26], y con tecnología muy avanzada como computación cuántica, y computadoras atómicas y moleculares. Los avances de la neurofisiología en esta época son tales que es posible comprender completamente el funcionamiento de las entradas y salidas del cerebro, así como todas sus interconexiones con el cuerpo humano. Existe también la tecnología necesaria, para realizar trasplantes bioelectrónicos de cerebro. El experimento consiste entonces en realizar el trasplante de cerebro de un individuo, *Juan, el donador*, a otro individuo *Pedro, el receptor*. Ambos tienen esposa e hijos. El objetivo del experimento radica en analizar lo que ocurrirá con ambos individuos respecto a sus conciencias, sus sentimientos, sus memorias, y, por supuesto, sus familias.

Desde la perspectiva científica, fisicalista en cierta forma, dado que considera que la conciencia y la mente son producto del cerebro, del sistema físico de neuronas y sus respectivas células y estructuras de apoyo, Pedro, el receptor, deberá reconocer después de la operación como su familia a la de Juan, porque la conciencia, la memoria y los sentimientos se encuentran en el cerebro que recibió de Juan. Pedro, en realidad, desde otra perspectiva, más que receptor, se debería considerar como donador, ya que está *aportando* su cuerpo. A Juan, por otra parte, en primera instancia el donador del cerebro, pero en definitiva el receptor del cuerpo de Pedro, el futuro cercano le deparará seguramente un montón de sorpresas, deberá acostumbrarse a su nuevo cuerpo y actualizar todo tipo de documentación en la que aparezca su fotografía, deberá aceptar su nuevo cuerpo con las ventajas y desventajas correspondientes —órganos de diferente tamaño, órganos que funcionan en diferente forma—, deberá modificar probablemente su perfil sicológico, etc. Es importante observar que su cerebro no fue trasplantado en el cuerpo de una mujer, porque ahí seguramente las complicaciones serían otras y mucho mayores, una historia ideal, sin duda, para el gran escritor portugués, ya extinto, José Saramago. La familia de Pedro,

el que esperaba por el trasplante, deberá reconocer simplemente que Pedro ya no existe, aunque si el futuro y las circunstancias lo permiten, podrán ver cada tanto su cuerpo habitado ahora por otro individuo. La familia de Juan, por otra parte, observará el cuerpo de otro individuo, que ahora se encuentra habitado por Juan.

Desde el punto de vista del dualismo, la teoría o doctrina que afirma la existencia de dos estados supremos independientes e irreductibles, materia y espíritu, todo aparenta ser mucho más fácil en lo que respecta a la conciencia y al problema mente-cuerpo. Pedro, el receptor, indudablemente, continuaría con su familia original —en cuanto a reconocimiento de la misma se refiere— porque el cerebro es solamente un órgano que representa a sus facultades mentales. El trasplante del cerebro, independientemente de la complejidad de la cirugía, sería prácticamente como el trasplante de cualquier otro órgano: *permitiría que órganos, tejidos o células de una persona puedan reemplazar órganos, tejidos o células enfermas de otra persona*. Juan, por su parte, el donador, quien ya realizó su transición en la Tierra, también continuará con su espíritu pero en otro nivel.

Capítulo 11
UNA VISION FUTURISTA

We know what we are, but we know not
what we may become
Shakespeare

En este capítulo se establecen las bases que nos permitirán analizar desde diferentes perspectivas, aplicando supuestos, analogías y extrapolaciones, la época en la que el hardware de un artefacto podrá alcanzar la complejidad y velocidad del cerebro humano. La época seguramente de súper inteligencia, de nuevos retos, la época que trascenderá los límites del progreso y transformará la humanidad para siempre para dar lugar al *trashumanismo*[1]. Aubrey de Grey (2009) ha utilizado recientemente el término *methuselarity* para referirse al *punto* en nuestro progreso contra el envejecimiento, en el que la expectativa racional sobre la esperanza de vida[2] —se considera vivir sin grandes deterioros fisiológicos y cognitivos relacionados con la edad— será desde un mínimo de tres dígitos hasta

prácticamente el infinito. De Grey aclara que en ese *punto*, un periodo de transición de muy pocos años, la esperanza de vida se incrementará a razón de un año por cada doce meses transcurridos.

Nuestros análisis, por otra parte, nos permiten inferir que para el año 2035 contaremos con robots humanoides suficientemente inteligentes como para trabajar, por ejemplo, de enfermeros profesionales o maestros en algunos niveles escolares, y que para mitad de siglo alcanzaremos la época de [3] una época de gran aceleración, en la que conviviremos con robots humanoides, ciberorganismos y hombres artificiales. Es decir, una era en la que cohabitaremos con máquinas con una capacidad cognitiva similar a la que exhiben los humanos en la actualidad. Consideramos además que llegaremos esta época de gran aceleración como resultado de los extraordinarios avances de las siguientes tecnologías emergentes que desarrollaremos más adelante en este mismo capítulo: a) chips de silicio

tridimensionales y transistores moleculares, b) computación molecular o computación con ADN, c) espintrónica y d) computación cuántica.

11.1 ENTRE LA CIENCIA Y LA FICCIÓN

Entre la *ciencia* y la *ficción* siempre ha existido una relación un poco confusa. La ficción muchas veces ha sido víctima de críticas y reproches, porque algunos señalan que va demasiado lejos y por eso pierde relación con la realidad. Otros, en cambio, sostienen que la realidad siempre es mucho más rica que la ficción, lo cual, de alguna forma, implica que la ficción nunca llega bastante lejos. Aunque mutuamente contradictorias, estas opiniones son siempre negativas (Mielnik, 1988).

La ciencia-ficción, la combinación de la ciencia con la ficción, es un género que enlaza a dos culturas, la científica y la humanística. Mezcla lo imposible con lo posible, y se puede desarrollar en el terreno del pasado o del futuro. Es además un género especulativo donde los relatos presentan el impacto de avances científicos y tecnológicos sobre la sociedad y/o los individuos. Muchos de los avances de la ciencia se conciben incuestionablemente en el mundo de la ficción. Asimov, Clarke y Heinlein, por ejemplo, dieron muestras de conocer muchísimo sobre ciencia en el siglo anterior. Isaac Asimov, escritor y bioquímico estadounidense, nacido en Rusia, fue un autor excepcionalmente prolífico de obras de ciencia-ficción y divulgación científica. Fue además el primero en concebir el mundo de la robótica. Engelberger, quien en 1958 construyó el primer robot industrial llamado *Unimate*, atribuyó su fascinación por los robots a las lecturas de Asimov. El británico Arthur Clarke fue escritor, inventor y un apasionado de las matemáticas, física y astronomía. Su artículo técnico *Extra Terrestrial Relays* (Clarke, 1945) estableció las bases para el desarrollo de los satélites artificiales en órbita geoestacionaria. Fue también autor de obras de divulgación científica y de ciencia-ficción, como *El centinela* o *2001: Una odisea del espacio*. Robert Heinlein, escritor estadounidense, fue considerado por algunos críticos entre los tres mejores de todos los tiempos. Habitualmente riguroso en cuanto a la base científica, introdujo en la temática la genética.

Ya en este siglo, los escritores de ciencia ficción y los futuristas comenzaron a analizar el impacto de la inteligencia artificial en la sociedad. La película *A.l. Artificial Intelligence*, escrita y producida por Steven Spielberg, relata la historia de David, un *androide* —máquina con forma humana— con la habilidad para sentir las emociones humanas, que incluyen trágicamente la capacidad para amar pero también para sufrir. Michael Crichton, en el año 2003, publica *Presa*, una novela basada en los avances de la ciencia y la tecnología, en que las nanotecnologías escapan al control humano y se transforman en una amenaza para nuestra supervivencia, al convertirnos prácticamente en presas de letales enjambres de nanopartículas. Crichton, al fin y al cabo, no hace más que seguir la senda marcada por otras mentes creativas que, por ejemplo, se inspiraron en la ingeniería genética para crear un

ejército de clones en *La Guerra de las Galaxias* o bien en las tecnologías informáticas para alumbrar los más recientes desvaríos mesiánicos de *Matrix* (Cózar, 2003). Actualmente la inteligencia artificial, la ingeniería genética, la nanotecnología, la computación cuántica y la robótica, entre otras disciplinas, aunque parecen del mundo de la ficción, son a la fecha una realidad.

11.2 SOBRE LA LEY DE MOORE

Un *chip* o *circuito integrado es* una pastilla muy delgada compuesta por miles o millones de dispositivos electrónicos interconectados. La mayoría de estos dispositivos son *transistores*, aunque en una proporción considerablemente menor se encuentran también diodos, resistencias y condensadores. Los circuitos integrados más avanzados, *microprocesadores y memorias digitales*, son extremadamente importantes porque se utilizan en la actualidad para múltiples artefactos electrónicos, desde electrodomésticos y teléfonos celulares hasta computadoras y sistemas de transporte, manufactura y comunicaciones. Los circuitos integrados fueron inventados por Jack Kilby de *Texas Instruments* y Robert Noyce de *Farchild Semiconductor*, quienes trabajaron en forma independiente entre los años 1958 y 1959. Jack Kilby fue galardonado en el año 2000 con el Premio Nobel de Física por su contribución en el desarrollo de los circuitos integrados.

En 1965, Gordon Moore, cofundador de *Intel*, señaló que el número de transistores por pulgada en circuitos integrados se duplicaba cada año y que la tendencia continuaría durante las siguientes dos décadas. Años más tarde, en 1975, Moore corrigió su propio postulado afirmando que el ritmo de crecimiento bajaría y la densidad de los datos se duplicaría cada 18 meses. Esta progresión de crecimiento exponencial es lo que se conoce hoy en día como la *Ley de Moore*. En poco tiempo, los transistores de un circuito integrado pasaron de 6 a 100,000 y treinta años después de su aparición se construyeron *chips* con más de un millón de transistores. En la actualidad existen microprocesadores que contienen 200 millones de transistores y que operan con una frecuencia de 3 *gigahercios*. Se estima que para el año 2015 tendremos microprocesadores con más de 15 billones de transistores. Moore, para ilustrar el crecimiento exponencial del número de transistores que se fabricaban cada año, solía decir que el número de transistores que se producían en un año era similar al número de hormigas que había en el mundo. Moore se equivocó: sólo en el año 2003 se fabricaron 10^{19} transistores, 100 veces más de lo estimado inicialmente. Cada hormiga, para respetar la analogía, debería haber cargado alrededor de 100 transistores. Es importante observar que en la actualidad, prácticamente cualquier medida de las capacidades de los dispositivos electrónicos digitales están fuertemente correlacionados con la Ley de Moore: velocidad de procesamiento, capacidad de memoria, sensores, y hasta el número de píxeles en las cámaras digitales (Myhrvold, 2006).

Este crecimiento exponencial en el número de transistores y la densidad de los mismos ha provocado también un incremento notable tanto en la generación del calor como en el consumo de energía, motivando un cambio radical sobre la arquitectura de los *chips*. Recientemente se ha comenzado a integrar dos pequeños procesadores en un circuito integrado de 64 bits, que corren en paralelo. Los procesadores *multicore* permiten un incremento en el desempeño sin incrementar la energía y el calor. Respecto a la densidad, actualmente se está alcanzando una contracción de 45 *nanómetros* (nm), el siguiente paso son los 32 nm y se podrá llegar incluso hasta los 16 nm entre los años 2013 y 2018. Cabe considerar, a efecto de ¡lustrar lo increíblemente pequeño que son estos dispositivos, que el ancho de un cabello humano es aproximadamente de 60,000 nanómetros. Es decir, en el ancho de un cabello podrían caber alrededor de 3,750 chips de 16 nanómetros. Esta contracción, posible por la identificación de un material *high-K* diseñado por IBM e Intel, conocido como hafnio, *H*f, permitirá construir transistores de compuertas dieléctricas (Haskins, 2007). Paul Packan (1999), un científico de *Intel*, afirma que el siguiente paso de la progresión basada en la Ley de *Moore* consistirá en desarrollar transistores compuestos por menos de 100 átomos, que escaparán completamente del control de los ingenieros semiconductores. Si finalmente se detuviese el proceso de miniaturización de los transistores, las únicas vías de progreso estarían basadas en la utilización de nuevos materiales, nuevos diseños de transistores y nuevas ideas como la *computación molecular*.

11.3 LA EVOLUCIÓN DE LA SOCIEDAD POR EL CONSUMO DE ENERGÍA

Leslie White, un antropólogo estadounidense conocido por sus teorías sobre la evolución cultural, la evolución sociocultural y en especial el neoevolucionismo, señala que, Independientemente de las invenciones específicas, la medida que permite evaluar la evolución cultural de una sociedad es la energía, específicamente el aprovechamiento y el control de la energía. White distingue cinco etapas de la evolución humana y menciona una sexta a la que podríamos acceder en el futuro cercano. En la primera etapa los individuos utilizaron la energía de sus propios músculos, en la segunda se recurre a la energía de los animales domesticados, en la tercera se utiliza la energía de las plantas, en la cuarta se recurre a la energía de los recursos naturales como el petróleo, carbón y gas, y en la quinta se hace uso de la energía nuclear. En la sexta se utilizará energía de fluctuación cuántica del *punto cero*[4]. White señala que en definitiva una cultura evoluciona en función del incremento de la cantidad de energía aprovechada per cápita por año.

El astrónomo ruso Nikolai Kardashev, por otra parte, extrapoló la teoría de White para crear *la escala de Kardashev*, la cual categoriza el uso de energía de civilizaciones avanzadas. En realidad, es un método que permite medir de manera

especulativa el nivel de avance tecnológico de una civilización. La escala de Kardashev se puede observar también como una extensión de las teorías sociales, particularmente la del *evolucionismo social*. La escala tiene tres tipos y se cuantifica en unidades de potencia, watts o vatios (joules por segundo).

a. *Tipo 1*. El primer tipo considera los recursos de energía de un planeta. Una civilización que es capaz de aprovechar todos los recursos del planeta tiene cerca de 10^{17} watts disponibles. El planeta Tierra[5], por ejemplo, tiene aproximadamente 174 petawatts, 1.74×10^{17} watts.

b. *Tipo 2*. El segundo tipo toma en cuenta los recursos de energía de una estrella. El Sol, la única estrella del sistema solar, tiene aproximadamente 3.86×10^{26} watts.

c. *Tipo 3*. El tercer tipo considera los recursos de energía de una galaxia[6], los cuales se estiman en 4×10^{37} watts. En el universo observable existen más de 10^{11} galaxias. Cada galaxia, por otra parte, tiene aproximadamente 10^{12} estrellas.

Kardashev estima que la civilización actual, año 2010, pertenece al Tipo O, produce 16 terawatts y tiene un valor en su escala de 0.718[7], equivalente al 0.16% de los recursos de energía del planeta Tierra. Los científicos especulan que no sería difícil alcanzar el Tipo 1 en el futuro cercano, en la época de la singularidad tecnológica. En particular, se estima que la civilización podría alcanzar el Tipo 1 si hace uso de:

El *gradiente térmico oceánico* —diferencia de temperatura entre las aguas superficiales y las aguas profundas— y *aerogeneradores* —generador eléctrico impulsado por turbinas eólicas— a los efectos de extraer y aprovechar la energía recibida por los océanos por parte del Sol.

La *energía de fusión*, la cual representa la energía liberada al realizarse una reacción de fusión nuclear. Para alcanzar el Tipo 1 se necesitaría convertir alrededor de 5 kg de materia a energía por segundo, aproximadamente la fusión de 1,000 kg de hidrógeno a helio.

La producción de *antimateria*. La civilización actual no ha dado muestras hasta el momento de poder utilizar la antimateria como energía, debido principalmente al costo extraordinario que demanda su fabricación. Se calcula que 1 mg de antimateria cuesta aproximadamente 60,000 millones de dólares (NASA, 1999). Se estima además que la reacción de 1 kg de antimateria y 1 kg de materia, producirían aproximadamente 1.8×10^{17} joule de energía.

Los científicos consideran que si bien se podría alcanzar el primer nivel en la escala de Kardashev, se podría llegar también a una etapa de colosal agitación social y una gran destrucción porque: no habría suficiente espacio para el crecimiento de la

civilización[8] y además el excesivo uso de energía haría inhabitable el planeta, si no se encuentran previamente técnicas para disminuir el calentamiento global.

11.4 LAS TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y LA ÉPOCA DE GRAN ACELERACIÓN

En esta sección se describen brevemente las tecnologías emergentes que, de acuerdo con nuestra perspectiva, permitirán extender en décadas la Ley de Moore hasta alcanzar la época de la singularidad tecnológica y de hombres artificiales. Es muy probable que algunas tecnologías tengan más influencia que otras en determinados periodos de tiempo; es presumible también que muchas interactúen entre sí; es viable además que con el correr de los años surjan otras tecnologías que no se consideran en la actualidad; es asimismo factible que las *drogas inteligentes*, los *nootropics*, tengan un impacto extraordinario sobre el Intelecto de los Individuos. Todas estas tecnologías, desde nuestra perspectiva, son importantes para alcanzar la época de gran aceleración.

11.4.1 CHIPS DE SILICIO TRIDIMENSIONALES Y TRANSISTORES MOLECULARES

Los chips de silicio tridimensionales, three-dimensional integrated circuits, 3D-IC, representan la combinación de múltiples capas de dispositivos electrónicos Integrados, tanto vertical como horizontalmente, en un solo circuito. Esta integración de múltiples capas con una gran densidad de conexión entre capas permite Incrementar tanto el desempeño, considerando tiempo y consumo de energía, como la funcionalidad de los circuitos integrados (Das et al.; 2004). Los 3D-IC tienen obleas más pequeñas, un ancho de banda más grande y una menor interconexión —más cables cortos y menos cables largos— que los circuitos fabricados en dos dimensiones. En la actualidad, empresas como Intel, NEC, NXP Semiconductors, Samsung, STMicroelectronics y Amkor Technologies se encuentran en un fuerte proceso de colaboración explorando nuevas posibilidades que les permita acelerar el proceso de comercialización de los productos 3D-IC, los cuales se espera estén disponibles en el mercado no antes del año 2013. Topol señala algunos beneficios esperados con esta nueva tecnología que permitirá extender seguramente la Ley de Moore (Topol et al.; 2006):

a. *Reducción de ruido*. Se produce como resultado de interconexiones más cortas y la reducción de cargas eléctricas. Los cables más cortos tienen además menos repetidores y capacitancia más baja, lo que provoca menos ruido y mayor integridad en la señal.

b. *Disminución de energía*. Se produce como consecuencia de la reducción de cables interconectados y repetidores. Se estima que el consumo de energía puede ser reducido de 10 a 100 veces. Esta reducción implica además menor generación de calor, extender la duración de la batería y disminuir el costo de operación.

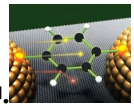
c. *Incremento de la densidad*. Se produce como resultado del apilamiento de los dispositivos generando un empaquetamiento de los transistores en una sola dimensión.

d. *Incremento en el desempeño*. Se logra colocando arreglos de memorias sobre o debajo de los circuitos logrando un mejor ancho de banda, y aumentando en consecuencia el desempeño de la comunicación entre el microprocesador y la memoria. El rendimiento del sistema se puede determinar en función del número de capas de dispositivos usadas.

e. *Mejora de la funcionalidad*. Se origina por la implementación de nuevas arquitecturas que reflejan una mayor flexibilidad en el diseño. La dimensión vertical incrementa en forma considerable la conectividad y abre un mundo de nuevas posibilidades de diseño. Se pueden además combinar tecnologías distintas —analógica, óptica, etc. —para crear sistemas híbridos.

Los transistores moleculares, TM, por otra parte, permiten seguir avanzando en la miniaturización hasta alcanzar las escalas moleculares y atómicas. Los TM serán considerablemente más pequeños y más rápidos que los actuales, consumirán menos energía y producirán menos calor. Unos pocos átomos serán suficientes para ejecutar operaciones complejas y posibilitar el desarrollo de máquinas que corran en paralelo. Es importante observar que la escala molecular hace referencia a la dimensión crítica del transistor, la cual se determina por la longitud de una molécula, que mide un nanómetro.

Los transistores moleculares utilizan las propiedades de conducción eléctrica de ciertas moléculas orgánicas como, por ejemplo, el benceno. La molécula de benceno (**figura 7**) unida a dos electrodos de oro se dopa con azufre para que su conductividad eléctrica cambie ante la presencia de un campo eléctrico externo. Esto permite construir un transistor a partir de una sola molécula, demostrando por primera vez que un solo átomo cargado en una superficie de silicio, puede regular la conductividad de una molécula cercana (Song et al.; 2009; Kushmerlck, 2009). Una molécula puesta al lado de un átomo cargado se sintoniza, lo que permite que la corriente eléctrica fluya a través de la molécula, de un electrodo a otro. El flujo de corriente a través de la molécula puede ser activado y desactivado al cambiar el estado de carga del átomo adyacente (Piva et al.; 2005). Una aplicación natural para los transistores moleculares es la computación cuántica (Cardamone etal.; 2005).

Figura 7. Transistor molecular[9]. 

11.4.2 COMPUTACIÓN MOLECULAR O COMPUTACIÓN CON ADN

La computación molecular o *computación con ADN*[10] es una forma de computación que utiliza el ácido desoxirribonucleico y conceptos de bioquímica y biología molecular en lugar de las tecnologías tradicionales basadas en silicio. La computación molecular, en cierto sentido, es sinónimo de computación paralela, ya que aprovecha las ventajas de múltiples moléculas diferentes de ADN para explorar diferentes alternativas al mismo tiempo. El campo de la computación molecular fue especialmente desarrollado por Leonard Adleman (1998), de la Universidad del Sur de California, cuando resolvió el problema de la *Ruta Hamiltoniana*[11] con un grafo de 7 nodos. Adleman fue el primer científico que logró implementar una tecnología computacional con ideas biológicas, utilizó la estructura de moléculas de ADN para almacenar la información inicial del problema y estudió las moléculas resultantes de las reacciones químicas para obtener la solución. A partir de los experimentos de Adleman se han hecho varias pruebas, que sugieren que en el futuro será posible construir la *Máquina de Turing* utilizando moléculas.

La computación molecular aprovecha la facultad de las moléculas de reaccionar simultáneamente dentro de un mismo tubo de ensayo, tratando una cantidad de datos muy grande al mismo tiempo. Se estima que una computadora molecular podría ejecutar aproximadamente 10^{20} instrucciones por segundo, por lo que sería 10^{10} veces más rápida que las computadoras de la actualidad. Otra ventaja importante radica en la cantidad de información que puede almacenar. Se considera que en un centímetro cúbico o un gramo de *ADN seco* se podría almacenar la información equivalente a un trillón de CDs. Una solución acuosa de ADN, con algunas sales y otros compuestos, podría contener alrededor de 10^7 a 10^8 terabytes. Además se podrían realizar búsquedas paralelas masivas sobre este volumen de información (Hong et al.; 2004). Si comparamos una hipotética computadora molecular con una supercomputadora actual, podremos observar que la velocidad de cálculo, la cantidad de información que puede almacenar y el consumo de energía, son mejorados en forma sustancial. En un litro de solución de ADN se podrían almacenar 10^{18} procesadores (Hong et al.; 2004). Asimismo, se tendría la perspectiva de lograr sistemas “auto-reproducibles” —válgase la expresión: lo vivo se puede “auto-reproducir” por sí mismo—, un concepto que las computadoras electrónicas no son capaces de implementar.

En el campo de la computación molecular, el ADN representa el software y las enzimas el hardware. La forma en que las moléculas sufren reacciones químicas al interactuar entre ellas, permite efectuar operaciones simples que se pueden realizar como un bioproducto de las reacciones (Kuri y Cairo, 2009). El hecho de que la cadena de ADN se represente como una secuencia de cuatro letras —A (adenina), C (citosina), G (guanina), T (timina) — que conforman las letras del código genético, tiene la ventaja de que se cuenta con cuatro símbolos para codificar la información, en lugar de los dos tradicionales que se utilizan en el sistema binario. Por otra parte, la densidad de datos que puede manejar es impresionante. Las bases están espaciadas cada 0.35 nanómetros, lo que produce una densidad de aproximadamente 18 Mbits por pulgada. En dos dimensiones, suponiendo una base por nanómetro cuadrado, la densidad es superior al millón de Gbits por pulgada cuadrada. Las operaciones que se pueden llevar a cabo sobre las cadenas de ADN se realizan usando enzimas que ejecutan tareas básicas. Las operaciones más utilizadas sobre cadenas de ADN son (Guardati y Morales-Luna, 2009):

a. Desnaturalización. *Consiste en separar la doble hélice de la molécula de ADN*.

b. Asociación. Es *el proceso contrario al anterior, es decir la asociación o reasociación de nucleótidos simples para formar uno doble*.

c. Relleno de hebras incompletas. Se *produce cuando a una de las dos hebras le falta algún nucleótido*.

d. Acortamiento. Se *origina cuando se corta una molécula de ADN por sus extremos*.

e. Unión. Se *basa en la unión de moléculas de ADN utilizando sus extremos*.

f. Inserción de subcadenas. *Radica en insertar dentro de una molécula de ADN una subcadena*.

g. Amplificación. *Consiste en producir copias de cadenas*.

h. Separación. Se *basa en separar las cadenas de acuerdo con sus longitudes*.

i. Extracción. *Consiste en extraer las subcadenas que cumplen con cierta condición. Por ejemplo, cadenas que contengan una determinada secuencia de símbolos*.

Para entender una computadora molecular, analizada desde el punto de vista de un sistema computacional tradicional, se requiere establecer (Guardati y Morales-Luna, 2009):

a. Una representación de los estados. *Consiste en determinar la forma de representar cada estado físico. En el caso de la computación molecular, cada polímero es una cadena formada por un alfabeto de monómeros*.

b. El paso o transformación de un estado a otro. *Consiste en determinar la forma de pasar de un estado al siguiente. Es decir, cuáles son las operaciones válidas que permiten transformar un estado en el siguiente. Pensando en este nuevo tipo de computadoras, se deben encontrar y controlar las posibles operaciones a realizar sobre un polímero.*

c. Ciclos o iteraciones. *Consiste en realizar las operaciones para pasar de un estado a otro de manera repetida. Por lo tanto, se requiere que un estado resultado de una transformación se pueda usar como entrada del siguiente. Aplicado a los polímeros, se debe buscar que el resultado de una operación —por medio de enzimas— sea la entrada de otra operación.*

El resultado final se puede observar como la consecuencia de aplicar operaciones simples —separación, extracción, unión, etc— o combinaciones de ellas a información codificada en una secuencia de ADN. De esta forma, las moléculas de ADN se pueden utilizar para representar información y las enzimas para computarla. La propiedad del ADN, de formar pares de bases complementarias entre nucleótidos de diferentes cadenas, le da el potencial de realizar otras operaciones sobre la información, por ejemplo la corrección de errores. Si el ADN se daña en una de las cadenas de la doble hélice, debido a la manipulación o a factores como la luz o la energía térmica, las enzimas correctoras podrán reconstruir la parte dañada usando la cadena complementaria como referencia. Esta característica aún no se puede explotar por las limitaciones de la tecnología actual. Sin embargo la posibilidad existe, y convierte a las moléculas en una excelente estructura de datos para almacenar y recuperar información.

Finalmente, cabe señalar que en los últimos años las investigaciones han avanzado en este campo en forma asombrosa. Ogihara y Ray mostraron la manera de simular circuitos booleanos con ADN (Ogihara y Ray, 1997); Oliver (1996) demostró cómo se pueden utilizar los cálculos con el ADN para obtener el producto de matrices booleanas o de matrices que contienen números reales positivos; Guarnieri y su equipo propusieron una nueva forma de sumar dos números binarios (Guarnieri et al.; 1996); Amos (2005) calculó los factores del número 15 utilizando una computadora de ADN, y Ehud Shapiro, del Instituto Weizmann de Israel, anunció que construyeron una computadora compuesta solamente por moléculas de ADN capaz de realizar 330 trillones de operaciones por segundo con una exactitud de 99.8%. La máquina además utiliza una pequeña cantidad de energía, puede detectar actividad cancerosa en una célula y liberar una droga o fármaco contra el cáncer después del diagnóstico (Lovgren, 2003; Benenson et al.; 2004). Recientemente,

Aran Nayebi (2009) presentó un algoritmo para la multiplicación de las matrices de Strassen en una computadora con ADN.

11.4.3 ESPINATRÓNICA

La es*pintróníca*, conocida también como *magnetoelectrónica*, un neologismo que surge a partir del es *pin* y la *electrónica*, es básicamente una tecnología emergente que aprovecha la propiedad cuántica de los electrones, el espín, así como su momento magnético y su carga electrónica. El espín, por otra parte, se manifiesta como un estado de energía magnética débil que puede tomar sólo dos valores, $+\hbar/2$ o $-\hbar/2$, donde $\hbar$, es la constante de Planck dividida por 2π o *constante reducida de Planck.*

La es *pintróníca* puede tener un impacto radical en los dispositivos de almacenamiento masivo, alcanzando una curva de crecimiento exponencial, principalmente por el uso de los dispositivos *GMR* y *TMR*[12]. De hecho, el campo de investigación de la espintrónica surge, en cierta medida, con el descubrimiento de la magnetorresistencia gigante, *giant magnetoresistance, GMR*, realizado en forma independiente por los grupos de Fert y Grünberg (Binasch et al.; 1989; Baibich et al.; 1988). El GMR es un efecto mecánico cuántico que se observa en estructuras de película delgada compuestas de capas alternadas ferromagnéticas. Un ejemplo de aplicación de estos dispositivos espintrónicos, GMR y TMR, lo representan las memorias no volátiles de acceso magnético *MRAM, magnetoresistive random* access memory. La densidad alcanzada en los últimos años por el uso de esta tecnología, es de 155,000 millones de bits por $cm.^2$ Empresas como *Toshiba, NEC, IBM, Hitachi* y *Crocus Technology*, entre otras, han comenzado a fabricar este tipo de memorias en fechas recientes, que encuentra aplicaciones naturales e inmediatas en: tarjetas inteligentes, teléfonos móviles, cámaras digitales, industria aeroespacial y aeronáutica, computadoras personales, etc. Otra aplicación natural de la espintrónica son los transistores. Los dispositivos espintrónicos podrán ofrecer velocidades más altas de procesamiento de datos, consumo de energía más bajo y muchas más ventajas comparadas con los chips convencionales. Atributos de este tipo son los que, en definitiva, permitirán extender la ley de Moore.

11.4.4 COMPUTACIÓN CUÁNTICA

La *computación cuántica*, que surge de la unión entre las tecnologías de la información y la mecánica cuántica, utiliza las propiedades de superposición y entrelazamiento de los estados cuánticos, tal y como se expresó oportunamente en el capítulo anterior, en la sección 10.5. Se basa en el uso de *qubits* y en *puertas lógicas cuánticas* que permiten un paralelismo exponencial o un paralelismo cuántico en el cálculo, permitiendo de esta forma resolver problemas que hasta hace muy poco tiempo se consideraban intratables.

Se presentan a continuación algunos de los conceptos básicos relacionados con la computación cuántica, necesarios para la comprensión de este tema (Guardati y Morales-Luna, 2009):

a. *Qubit* (quantum *bit*). El qubit, la unidad mínima de Información cuántica, consta de tres estados: *ket 0, ket 1* y *superposición cuántica*. Es un concepto que se define básicamente como la *superposición* de los valores cero y uno. Cuando un qubit se mide, la superposición colapsa en uno de los estados base, cero o uno. Sin embargo antes de la medición el qubit puede tener un valor de equilibrio, mitad cero y mitad uno, o cualquier combinación de estos dos posibles valores, por ejemplo 65% uno y 35% cero. La medición, por lo tanto, se puede observar como un proceso creativo ya que una vez que se lleva a cabo se obtiene un bit de información, o bien como un proceso destructivo ya que la medición y la obtención de un valor implica automáticamente perder los otros posibles valores. Von Baeyer (2004) compara la medición del qubit con el lanzamiento de una moneda. Cuando una moneda está en el aire puede estar en posición vertical —50% cara y 50% cruz— o más inclinada hacia alguno de sus lados. Sin embargo, cuando cae, siempre será cara o cruz.

b. *Entrelazamiento*. Se produce cuando dos partículas permanecen relacionadas entre sí formando un subsistema que no se puede describir separadamente. Si una de las partículas sufre un cambio de estado, la otra se ve afectada en forma automática, independientemente de la distancia que las separa.

c. *Superposición*. Hace referencia a un estado cuántico, el cual describe la situación en la que una partícula puede adoptar más de un estado a la vez. En general, es natural pensar que ciertos entes se encuentren encendidos o apagados, vivos o muertos, arriba o abajo. Por lo tanto, resulta difícil imaginar que pudieran estar en ambos estados al mismo tiempo. A pesar de que la superposición se considera *común* en la naturaleza, no es fácil relacionarlo a eventos de la vida diaria. Un ejemplo muy utilizado para ilustrar este concepto es el de un rayo de luz proyectándose hacia una superficie sobre la cual el rayo se separa en partes. Por lo tanto, la luz se *refleja* hacia arriba de la superficie y a su vez se *transmite* a través de la misma. Se dice que está en dos estados posibles —se refleja y se transmite— simultáneamente. Otro ejemplo es el de la corriente eléctrica fluyendo en direcciones opuestas a través de un cable circular.

d. *Decoherencia*. Se le llama así al fenómeno que, cuando se interactúa con un *qubit*, ocasiona que éste adopte uno de sus posibles valores, perdiendo el resto y las ventajas Implícitas de la superposición cuántica, de la cual gozaba hasta el momento de la interacción. A esta pérdida de información se le conoce como error. Por otra parte, se ha demostrado que es posible compensar estos errores mediante códigos cuánticos *correctores de errores*.

e. *interferencia*. El movimiento de las partículas subatómicas se define en términos probabilísticos, no determinísticos. En consecuencia, ya no se puede representar por medio de una trayectoria definida, como una recta o una curva, sino por medio de una onda. La onda tiene la propiedad de propagarse, por lo que expresa claramente el hecho de que la partícula se pueda encontrar en distintos lugares en forma simultánea, ya que proporciona información sobre las diferentes probabilidades de posición de la partícula. Otra consecuencia de esta representación en forma de onda, es la interferencia —las ondas *interfieren* con otras ondas y consigo mismas—, que produce un efecto de cancelación o reforzamiento, dependiendo de la posición del encuentro. Si se pensara en términos de música, una computadora tradicional genera una secuencia de ondas análogas al sonido generado por la ejecución de un instrumento. En una computadora cuántica, en cambio, el efecto sería equivalente al generado por una orquesta: varias ondas desplazándose al mismo tiempo e interfiriendo entre sí.

f. *Principio de incertidumbre de Heisenberg*. El principio establece que hay un límite en la precisión de cualquier observación que se realice en el mundo subatómico e incluso en el atómico, debido a que es imposible hacer una observación objetiva sin afectar el estado del objeto observado. Por lo tanto, no se puede determinar simultáneamente y con precisión ciertos pares de variables físicas de un objeto, por ejemplo la posición y la velocidad. Es decir, se podría observar la posición de una partícula, pero se perdería la información sobre su velocidad. Según la física cuántica esta limitación no se podrá superar, ya que depende, no de los medios de observación, sino de la observación misma que constituye una interacción directa con el objeto estudiado.

g. *Reversible*. El concepto hace referencia a una propiedad especial que permite que una vez que se aplica una operación sobre ciertos datos y se obtiene un resultado, se pueda nuevamente regresar a los datos partiendo desde el resultado. Las compuertas lógicas clásicas no son reversibles, ya que si se aplica, por ejemplo, un AND sobre dos bits, se obtiene como resultado un bit del cual ya no se puede regresar a los bits —datos— iniciales.

h. *Quregistro*. Es la concatenación de varios qubits, mismo que puede tomar un número exponencial de estados. Un quregistro, también conocido como *n-qubit registro*, puede contener una superposición de 2^n posibles valores. Se puede evaluar una función sobre este quregistro, obteniendo una superposición de todos los resultados. El problema surge cuando se realiza la medición: sólo un valor simple y aleatorio queda disponible.

i. *Medición*. Se le llama así al proceso de medir —leer— el valor de un qubit. La operación, como se ha mencionado anteriormente, termina alterando el estado del qubit medido. Esto es otra de las grandes diferencias con un bit

clásico. En quregistros entrelazados, la medición de un qubit afecta las mediciones de los qubits restantes.

j. *Compuertas cuánticas*. Las compuertas cuánticas, conocidas también como *qucompuertas*, son los mecanismos utilizados para manipular los quregistros. Las compuertas cuánticas deben ser reversibles.

a. *Paralelismo cuántico*. Hace referencia a la evaluación simultánea de una función para muchos valores a través de la aplicación de una compuerta cuántica. En el paralelismo cuántico se cifra la potencia del cómputo cuántico.

La computación cuántica tendrá sin duda, en un futuro relativamente cercano, un impacto profundo en la vida cotidiana (Guardati y Morales-Luna, 2009). En la actualidad se encuentra aún en una etapa de intenso desarrollo, desde experimentos que permiten observar los fenómenos hasta técnicas para controlar dichos fenómenos. Algunos de los grupos involucrados en la implementación física de modelos cuánticos son el *Laboratorio Nacional de Los Alamos —LANL—*, el *Instituto Tecnológico de Massachussets —MIT—*, la *Universidad de Yale*, y el *Tecnológico de California -CALTECH-*, en los Estados Unidos; el *Centro Europeo de Investigación Científica —CERN—* y el *Instituto Max Planck*, en Europa, la empresa *NEC* y el *Instituto de Investigación de Física* y *Química —RIKEN*en Japón, entre muchos otros Institutos que se están creando alrededor del mundo a cada momento. Entre las tecnologías de implementación se consideran las trampas de iones, la electrodinámica cuántica de cavidades —*QED*— y la resonancia magnética nuclear —*NMR*—, aunque cabe observar que las limitaciones aún son considerables. Se estima que las primeras computadoras cuánticas de uso generalizado serán muy distintas de los modelos actuales.

Finalmente, cabe señalar que las principales aplicaciones de la computación cuántica se encuentran en las áreas de:

a. *Criptografía*: seguridad de la información, preservación de la privacidad y de la integridad *de los* mensajes.

b. *Bases de datos: localización de registros en información* poco estructurada, recolección de *información de* tipo militar o de inteligencia.

c. *Simulación de fenómenos cuánticos*: estudio de diversos modelos de la física de partículas.

d. *Cómputo masivo: de* interés en ciencias como física, astronomía, química, meteorología, oceanografía, ciencias forenses.

e. *Simulación de procesos dinámicos*: desde explosiones de diversos tipos hasta hidrodinámica de diversos fluidos.

En la administración y los negocios sus potencialidades son naturalmente enormes en cuanto a la localización de información y sus posibilidades de pronóstico mediante la corrida de procesos. La ingeniería a escalas atómicas y la *interferometría atómica* basada en la dualidad onda-partícula de la luz constituyen también áreas de aplicación potencial para esta disciplina.

Capítulo 12
LAS PRÓXIMAS GENERACIONES DE ROBOTS

En este capítulo se presentan las cinco generaciones de robots que podremos observar en los próximos cuarenta años, desde el año 2010 hasta el año 2050, la mitad del siglo XXI, la época de la singularidad tecnológica. Las estimaciones, basadas en datos actuales y factores de crecimiento razonables, son de alguna forma conservadoras respecto a las predicciones de otros futuristas. Glenn McGee, por ejemplo, señala que para el año 2020 contaremos con robots humanoides con capacidades similares a los humanos. Hans Moravec estima que para el año 2030 tendremos una máquina con capacidad para ejecutar 100 millones de MIPS, equivalente a la capacidad de procesamiento del cerebro humano. Raymond Kurzweil (2006), por otra parte, considera que para el año 2029 tendremos una máquina con un poder de procesamiento similar al del cerebro humano y que para el año 2045, alcanzaremos lo que el escritor de ciencia ficción, Vernor Vinge, ha llamado *la singularidad tecnológica,* una época de *cambio de aceleración*[1] en la que será posible crecer a una tasa Inconcebible, casi inimaginable en el pasado, una época de *superinteligencia*[2].

Stephen Hawkins señala que la singularidad aplicada a máquinas inteligentes refiere a la idea de que cuando las máquinas puedan diseñar máquinas más inteligentes que ellas mismas, causarán un crecimiento exponencial de la inteligencia que guiará indefectiblemente a una singularidad infinita del intelecto. Vinge (1993), quien acuñó el término de singularidad tecnológica por analogía con la *singularidad gravitacional*[3] observada en los agujeros negros, aclara que la causa precisa de este cambio es la inminente creación de tecnología por entidades con mayor inteligencia que la humana. Vinge compara este periodo prácticamente con el inicio de la vida humana en la Tierra y considera que existen diferentes formas por las que podemos llegar a la singularidad tecnológica: a) el desarrollo de máquinas conscientes con un nivel de inteligencia superior a la humana; b) grandes redes de computadoras que se

despertarán como entidades inteligentes superhumanas; y c) las ciencias biológicas que pueden encontrar alternativas para superar el intelecto humano natural.

12.1 PRIMERA GENERACIÓN DE ROBOTS - AÑO 2010

Hans Moravec (2003) señala que en la actualidad las computadoras personales más veloces ejecutan aproximadamente 1,000 MIPS (10^9) y que se necesitarían unos 65,000 MIPS para imitar funcionalmente sólo un gramo del tejido neuronal, y cerca de 100 millones de MIPS (10^{14}) para emular el peso promedio de 1.5 kg del cerebro humano, que contiene alrededor de 100 billones de neuronas. Raymond Kurzweil (2001), por otra parte, menciona que en el cerebro residen 100 billones de neuronas (10^{11}), que tienen 1,000 (10^3) conexiones cada una y efectúan en promedio 200 (2×10^2) operaciones por segundo. Esto implica que para emular el cerebro humano se necesitarían procesar alrededor de 2×10^{16} instrucciones por segundo. Otros investigadores establecen en cambio que cada neurona tiene de 5,600 a 60,000 conexiones dendríticas provenientes de otras neuronas y puede realizar aproximadamente 1,000 operaciones por segundo. Considerando estos datos, para emular la capacidad del cerebro humano se necesitarían cerca de 6×10^{18} instrucciones por segundo.

Se podría inferir entonces que si las computadoras personales actuales pueden procesar 1,000 MIPS (10^9) y para emular el cerebro humano se necesitan alrededor de 2×10^{16} instrucciones por segundo, considerando la estimación de Kurzweil, entonces las computadoras personales de la actualidad pueden exhibir un comportamiento similar al de 0.000075 gramos o 0.000005% del cerebro humano. Estableciendo una analogía, tal vez un poco riesgosa dado lo difícil que resulta la comparación entre un hardware basado en silicio y otro basado en neuronas, el comportamiento actual de las máquinas es similar al del sistema nervioso de un insecto o al que muestran un grupo de robots coordinados en competencias como RobotCup Robot Soccer. En la tabla 2 se pueden observar las equivalencias entre las velocidades de procesamiento del cerebro humano y las computadoras personales actuales considerando la complejidad del cerebro (*CCH*) según diferentes científicos.

C*Ch* 1×10^3 MIPS	**Moravec (10^{14})**	**Kurzweil (2×10^{10})**	**Otros ($6 \times 1G^{18}$)**
Gramos del CH	0.0150000	0.0000750	0.0000003
% del CH	0.0010%	0.0000050%	0.000000017%

Tabla 2. Velocidades de procesamiento: CH y máquina. Año 2010

Ray Kurzweil (2001), descrito como *genio inquieto* por *The Wall Street Journal* y *el legítimo heredero de Thomas Edison* por la revista *Forbes*, señala que en el

siglo XIX hubo más cambio tecnológico que en los nueve siglos que lo precedieron, y que en los veinte primeros años del siglo XX se observaron más avances que en todo el siglo XIX. Los avances tecnológicos y científicos que experimentaremos en los veinte primeros años del siglo XXI serán seguramente superiores a los que se presentaron en todo el siglo XX. Los adelantos impresionantes que se han observado en los últimos años son realmente ilustrativos y significativos, porque además de permitirnos observar el estado del arte, nos permiten visualizar también lo que viene y lo que falta para alcanzar la época de singularidad tecnológica, la época del hombre artificial.

12.1.1 PROYECTOS RELACIONADOS A LA PRIMERA GENERACIÓN DE ROBOTS

En esta sección se describen brevemente los resultados de algunos proyectos interesantes en los que se ha trabajado en los últimos años. Estos proyectos, como mencionamos antes, sirven no sólo para conocer *dónde estamos*, sino también *adonde llegaremos*, en el futuro próximo.

2010-1 Supercomputadora *BlueGene*.

En noviembre de 2004, IBM lanzó al mercado la nueva *BlueGene/L*[4]. La máquina, instalada en *DOE'S Lawrence Livermore National Laboratory,* en Livermore, California, se convirtió en la computadora más veloz sobre la Tierra, desplazando al simulador japonés *NEC Earth Simulator*. BlueGene ocupa un espacio de 320 m^2 y tiene una velocidad límite de 596 teraflops, 596×10^{12} cálculos por segundo. Tres años más tarde del lanzamiento de BlueGene, IBM presentó una nueva versión conocida con el nombre de *BlueGene/P* que prácticamente triplicaba la velocidad de la versión anterior. BlueGene/P alcanza una velocidad límite de 3 petaflops, 3×10^{15} cálculos por segundo. Las supercomputadoras se utilizan para resolver problemas que requieren cálculos extremadamente complejos. Algunas de sus aplicaciones son: modelación molecular, física cuántica, simulaciones físicas, pronósticos del clima, etc. BlueGene/P, aunque fue construida con otro propósito, ya tiene una capacidad de procesamiento similar al cerebro humano, según estimaciones de Moravec.

2010-2 Computadora de moléculas de ADN.

El profesor Ehud Shapiro, del Instituto Weizmann de Israel, anunció que recientemente construyeron una computadora compuesta sólo por moléculas de ADN[5], capaz de realizar 330 trillones de operaciones por segundo con una exactitud de 99.8%, utilizando además una pequeña cantidad de energía. La máquina es además capaz de detectar actividad cancerosa en una célula y liberar una droga o fármaco contra el cáncer después del diagnóstico (Lovgren, 2003;

Benenson et al.; 2004). La máquina de Shapiro es tan pequeña que un tubo de ensayo podría contener un trillón de tales dispositivos. El científico reporta que el modelo para la computadora ADN es un autómata que responde preguntas de tipo binaria: *sí o no*. Pares de moléculas sobre un filamento del ADN representan los datos, mientras el hardware para leer, copiar y manipular el código se representa por medio de dos enzimas. Mezclando la combinación en un test de ensayos produce la salida.

2010-3 Circuito formado por moléculas de monóxido de carbono.

IBM construyó el circuito más pequeño del mundo, utilizando moléculas individuales de monóxido de carbono[6]. Cada circuito es tan pequeño que la goma que se encuentra en la parte de arriba de un lápiz podría contener 190 billones de circuitos. IBM señala que la nueva técnica de cascada molecular permite desarrollar elementos lógicos 260,000 veces más pequeños que aquellos utilizados en semiconductores basados en silicio. Cabe señalar que IBM ha estado trabajando en computadoras moleculares para encontrar una alternativa a los semiconductores basados en silicio que han alcanzado su máximo, en cuestión de miniaturización.

2010-4 Supercomputadora *Roadrunner*.

Científicos estadounidenses develaron en junio de 2008 la computadora más rápida del mundo llamada *Roadrunner*. La máquina, construida para el Departamento de Energía de los Estados Unidos, cuyo objetivo es predecir si el material nuclear es confiable y seguro, es casi el doble de rápida que hasta ahora la líder mundial BlueGene, ocupa un espacio de 560 m^2, puede alcanzar picos de 1.7 petaflops y tiene un rendimiento sostenido de 1.02 petaflops. Roadrunner está equipado con 12,960 procesadores PoweXCell8i, diseñados originalmente para la consola de videojuegos PlayStation 3, colocados en paralelo y 6,480 procesadores Opteron de AMD unidos por 92 km de fibra óptica. Para dar una idea de la velocidad de la supercomputadora, expertos de IBM señalaron que si cada uno de los 6,000 millones de habitantes del planeta usara una computadora personal y trabajara 24 horas por día, tardarían aproximadamente 46 años en concretar io que Roadrunner puede hacer en sólo un día.

2010-5 Quioscos inteligentes.

Expertos en el área de inteligencia artificial han desarrollado un nuevo artefacto que permite la comunicación personal entre un individuo y una máquina. La comunicación natural es simple y directa, además se puede llevar a cabo en varios idiomas. Los *quioscos inteligentes* se pueden instalar en diferentes puntos de la ciudad para múltiples aplicaciones, por ejemplo para asesorar sobre medios de transporte, museos, espectáculos, ubicación y localización de múltiples edificios públicos y privados, etcétera.

2010-6 Discos versátiles holográficos, *Holographie Versatile Disk, HVD*.

Los discos holográficos son una nueva tecnología de discos ópticos. Los primeros productos comerciales aparecieron en el transcurso del año 2007, aunque las memorias holográficas habían sido discutidas desde los años sesenta. La holografía[7] supera los límites conocidos de densidad de almacenamiento debido a que permite grabar aprovechando la profundidad del medio y no sólo la superficie. Por otra parte, la operación de lectura y grabación se lleva a cabo manipulando millones de bits con un haz de luz, lo que permite que la tasa de transferencia sea muy alta comparada con otros medios ópticos. Las características mencionadas, alta densidad y tasa de transferencia, junto con otras como confiabilidad, bajo costo, flexibilidad y larga duración, convierten a los discos holográficos en una excelente tecnología para cubrir algunos de los retos pendientes. Un disco HVD de 3.9TB de información podría, por ejemplo, almacenar aproximadamente la capacidad de 5,500 CD-ROM, 830 veces la capacidad de un DVD, y 160 veces la capacidad de un disco *Blu-ray* de capa simple. En perspectiva, se ha estimado que la Biblioteca del Congreso de Estados Unidos, una de las más grandes del mundo, contiene cerca de 20Tb, si los libros fueran escaneados en formato texto. Esto implica que con sólo 6 HVD de 3.9TB se podría almacenar el contenido de la biblioteca completa. Actualmente hay tres empresas que dominan el mercado de los discos versátiles holográficos: *Optware Corporation*, *Call/Recall Inc*. e *InPhase*.

2010-7 Prótesis cerebral.

El proyecto de la prótesis cerebral fue presentado recientemente en la revista *Nature* (Santhanam et al.; 2006; Hochberg et al.; 2006). La prótesis cerebral permitirá a pacientes tetrapléjicos mover objetos con el *pensamiento*. Actualmente, cientos de miles de personas en el mundo sufren daños en la espina dorsal que les impiden generar movimientos a través del cerebro, Mattew Nagle, un joven de 25 años, con parálisis del cuello para abajo a causa de una lesión medular, ha podido mover el cursor del ordenador, abrir un correo electrónico, subir el volumen de la televisión o incluso jugar un videojuego sólo con el pensamiento, gracias a un pequeño sensor implantado bajo su cuero cabelludo. La prótesis neuromotora, conocida con el nombre de *BrainGate*[8], permite captar las señales cerebrales, grabarlas en una computadora y posteriormente convertirlas en acciones. Los neurólogos saben que las neuronas se comunican enviando señales, tanto químicas como eléctricas, y que estas señales son las que conforman nuestras acciones y pensamientos. La investigación actual consiste en descifrar estas señales utilizando sensores y microprocesadores que se adhieren al cerebro y se convierten en parte de la actividad cerebral. El dispositivo instalado en la corteza motora —el área del cerebro que controla los movimientos— de Mathew tiene 96 microelectrodos que son capaces de captar miles de señales simultáneamente y transmitirlas a una computadora exterior que las procesa en

tiempo real. Richard Penn, el cirujano encargado de implantar esta clase de dispositivos construidos por la empresa *Cyberkinetics Neurotechnology Systems*, señala que el beneficio concreto no será solamente para algunos individuos, sino para toda la humanidad. Por el momento la prótesis *BrainGate* no es más que un prototipo que ha dado resultados excelentes. El objetivo ahora es la construcción de prótesis más pequeñas —nanoprótesis—, inalámbricas, que permitan al usuario mover una silla de ruedas y sus propios músculos. El objetivo a futuro es que el movimiento de los músculos permita a individuos parapléjicos o cuadripléjicos volver a caminar.

2010-8 Cucaracha cyborg.

El profesor Isao Shimoyama[9] y su equipo de investigación de biorrobótica de la Universidad de Tokio desarrollaron la primera cucaracha cyborg (**figura 8**), que podría, por ejemplo, localizar supervivientes de terremotos y efectuar misiones de espionaje en el futuro cercano, dadas sus características para desplazarse que le permiten llegar a lugares recónditos, prácticamente imposibles para el ser humano. En las antenas de la cucaracha se instaló una mochila microrobótica, equipada con microprocesadores y diodos, que permite controlar sus movimientos a control remoto (Kanzaki et al.; 2005). Las señales enviadas a la mochila generan impulsos que obligan a estos insectos a girar a la izquierda, a la derecha, correr hacia delante o hacia atrás, según se indique. Actualmente, el peso de la mochila es de 3 gr, el doble del peso promedio de cada cucaracha, que puede llevar en su espalda hasta veinte veces su propio peso. Los animales con este tipo de implante tecnológico pueden vivir varios meses, pero con el tiempo se tornan insensibles a las señales del electrodo. Actualmente los investigadores están trabajando para disminuir el peso de las mochilas y aumentar la eficiencia en la calidad e interpretaciones de las señales, para que las cucarachas puedan realizar movimientos más exactos. Shimoyama señala que el potencial de este tipo de aplicaciones en beneficio de la humanidad es inmenso.

Figura 8. La cucaracha cyborg.

2010-9 Robots humanoides.

Este tipo de robots será seguramente la solución para todos aquellos individuos que requieran de algún tipo de atención especial. Los robots podrían dialogar con ellos, leerle libros, administrarles medicamentos, seguir instrucciones, ser en definitiva su compañía. Los robots y su futuro son muy importantes, porque prácticamente todos los campos de la inteligencia artificial convergen en la

robótica. Se describen brevemente algunos productos, de las empresas más Importantes, que se encuentran disponibles en el mercado:

— *Sony: Qrio*. La empresa Sony presentó el primer robot *humanoide* de 60 cm de altura, que es capaz de correr. Toshi Doi, vicepresidente de Sony, señaló que el robot puede trotar a una velocidad de 14 metros por minuto, 0.84 km/h y también tiene capacidad para bailar. Puede efectuar 1,000 movimientos diferentes, danzar al ritmo de 10 canciones, utilizar 20,000 palabras y hablar con su propietario gracias a 200 diálogos preprogramados. Hasta el momento, los robots humanoides necesitaban tener uno de los pies en el suelo para no perder la estabilidad. Sin embargo, con la tecnología *intelligent servo actuator*, que le permite desplazarse dinámicamente, y la técnica *zero moment point*, que le permite mantener la estabilidad, este robot es capaz de bailar y correr.

— *Fujitsu: HOAP-3*. Este nuevo modelo —año 2005— tiene 60 cm de altura y pesa 8.8 kg. Su cerebro puede procesar los sonidos e imágenes que recibe y actuar en respuesta a ellos. *Fujitsu Automation* considera que podrían vender aproximadamente 100 robots de este tipo en los próximos años.

— *Mitsubishi: Wakamaru*. Este es un robot amarillo de 1 m de alto y 30 kg de peso, que reconoce perfectamente a sus dueños, así corno a otras ocho personas, y utiliza más de 1,000 palabras para comunicarse. Wakamaru puede incluso pedir una cita con el médico o solicitar ayuda en caso de una urgencia. Su único problema, como el de la mayoría de los robots, es que sólo comprende las frases con las que se le ha programado y no se puede cambiar el orden de las palabras.

— *Honda: ASIMO*. Con el aspecto físico de un pequeño astronauta, este nuevo robot que sorprende por sus facultades, tiene 52 kg de peso y 1.20 m de altura. Dotado de una gran flexibilidad gracias a las 26 articulaciones de su cuerpo, puede reproducir el movimiento de desplazamiento natural de los seres humanos, girar, bajar escaleras, pulsar interruptores, abrir puertas o trabajar en mesas ya que sus ojos están situados al nivel de la visión horizontal de un adulto sentado. Es también capaz de reconocer seres humanos, objetos, gestos, voces y sonidos, realizar 50 saludos diferentes y actuar en función de cualquiera de las 30 instrucciones que reconoce. Honda además está interesado en su capacidad para relacionarse con la gente. En su última versión, *ASIMO* presta ya sus servicios como recepcionista en nueve empresas, entre ellas IBM.

— *Toyota: Partner Robot*. La empresa *Toyota* ha diseñado tres diferentes tipos de robots para ayudar o prestar asistencia a los adultos mayores. Entre las principales características de estos robots destacan su agilidad, amabilidad y un nivel de inteligencia suficiente como para poder operar y manipular

dispositivos de uso corriente. El robot, capaz de caminar, está enfocado a la asistencia a personas y al cuidado de los ancianos. El primer modelo mide 1.20 m de alto y pesa 35 kg. El segundo modelo tiene su fortaleza en la manipulación de objetos. Posee una estatura de un 1 m y pesa 35 kg. El tercer modelo fue diseñado para poder transportar individuos, por lo tanto puede ayudar en tareas de movilidad y asistencia a discapacitados. Es el más grande de la línea, mide 1.80 m de alto y tiene un peso de 75 kg. Cabe señalar que los dos primeros modelos están dotados de labios artificiales que se mueven prácticamente de la misma manera que los labios humanos, lo que les permite, junto con las capacidades de sus manos, tocar instrumentos musicales de aire como una trompeta.

2010-10 La supercomputadora *Jülich*[10] simula una computadora cuántica.

Una computadora cuántica podría proporcionar una mejora notable en la velocidad de procesamiento de las computadoras existentes. Sin embargo, hasta el momento sólo existen en los laboratorios en forma de pequeños prototipos con una capacidad de unos pocos bits. La supercomputadora *Jütich* pudo simular recientemente el sistema cuántico de computación más grande del mundo, con 42 bits. La potencia de cálculo de un ordenador cuántico crece exponencialmente con su tamaño, dice Kristel Michielsen del Centro de Supercomputación de Jülich. Esta es una oportunidad enorme para futuras aplicaciones y también un gran desafío para las simulaciones en este momento. Si una computadora cuántica se expande en un solo bit, entonces su potencia de cálculo se duplica inmediatamente debido a las leyes, en las que se basa, de la mecánica cuántica. La potencia de cálculo de una computadora clásica, por otra parte, crece linealmente con sus componentes, un 10% más de transistores implica un 10% más de rendimiento. Si se desea simular una computadora cuántica de 42 bits entonces se necesita una supercomputadora como *BlueGene/P*, la más rápida de Europa, con casi 300,000 procesadores y una potencia de cálculo de un cuatrillón de operaciones de punto flotante por segundo, 10^{15}. El algoritmo de Shor, una aplicación de prueba común para las computadoras cuánticas, fue probado en el simulador de 42 bits, factorizando el número 15,707 en 113×139. Esta es la prueba más grande que se ha experimentado hasta el momento en simuladores cuánticos. Para obtener el récord mundial, el equipo de investigación Jülich y el grupo de Física Computacional de la Universidad de Groningen, en los Países Bajos, desarrolló el software de simulación a un nivel de perfección tal que le permitió simular cientos de miles de procesadores trabajando en paralelo. Sobre la base del programa informático de simulación que se ha desarrollado ahora, será posible explorar en detalle los fenómenos y la dinámica de los sistemas mecánico-cuánticos. Considerando que los prototipos actuales de laboratorio sólo han alcanzado un tamaño de ocho bits, la simulación puede ser utilizada para investigar eficazmente las propiedades de los sistemas más grandes. En

particular, las simulaciones permiten evaluar el impacto de las influencias externas en el sistema cuántico, y para descubrir la manera de compensar los errores resultantes, proporcionando valiosos resultados.

12.2 SEGUNDA GENERACIÓN DE ROBOTS - AÑO 2020

La mayoría de los científicos y futuristas coinciden en el extraordinario poder computacional que existirá en los próximos años. Nuestras estimaciones indican que para el año 2020 las máquinas personales serán más de 100 veces más veloces que las actuales[11] y podrán procesar aproximadamente 101,594 MIPS, 1.02×10^{11} instrucciones por segundo. Se podría Inferir entonces que estas computadoras personales podrán exhibir un comportamiento similar al de 0.0076 gramos del cerebro humano o 0.0005% del mismo, considerando la complejidad del cerebro humano según Kurzweil. Estableciendo una analogía, el comportamiento de estas máquinas será similar al de pequeños mamíferos. En la tabla 3 se pueden observar las equivalencias entre las velocidades de procesamiento del cerebro humano y las computadoras personales del año 2020 considerando la complejidad del cerebro según diferentes científicos.

C*Ch* 1.01×10^5 MIPS	**Moravec (10^{14})**	**Kurzweil (2×10^{16})**	**Otros ($6 \times 1G^{18}$)**
Gramos del CH	1.523905	0.007620	0.000025
% del CH	0.1015936%	0.0005079%	0.0000016%

Tabla 3. Velocidades de procesamiento: CH y máquina. Año 2020

Los avances en la productividad total de los diferentes factores, debido principalmente a la aplicación de nuevos conocimientos técnicos y científicos, así como a la mejora de los procesos productivos y el surgimiento de nuevos productos y servicios, serán inmensos en el año 2020. A continuación se describen brevemente algunas predicciones, basadas en argumentos concretos y tendencias actuales, sobre lo que ocurrirá en el mundo en esa fecha:

a. El producto interno bruto (PIB) de China superará al de todos los países del mundo, excepto a los Estados Unidos. Goldman Sachs[12] señaló hace unos años, específicamente en el año 2003, que China alcanzaría al Reino Unido en el año 2005, a Alemania en el año 2010 y a Japón en el 2015. Por otra parte, el PIB de India será similar al de las potencias europeas. India alcanzaría a Italia en el año 2015, a Francia en el 2020 y a Alemania en el 2022. Es Importante observar que en el año 2009, seis años después de la predicción de Goldman Sachs, China sobrepasó ya al Reino Unido por el

124%, a Alemania por el 46% del PIB, y seguramente sobrepasará también a Japón en el año 2011.

b. Estar *en línea* —conectado a la red de redes— será la condición normal de vida para la mayoría de los individuos de los países desarrollados y en vías de desarrollo.

c. La reorganización social será equiparable al surgimiento de las ciudades, 6,000 años atrás. Sin embargo, a diferencia de la urbanización que demandó siglos, la transición se llevará a cabo en décadas[13].

d. La economía mundial seguirá creciendo. Se proyecta que sea 80% más grande que en el año 2000. El promedio del producto interno bruto per cápita será también 50% más alto que en el año 2000.

e. Los grandes beneficiarlos de la globallzación serán los países que puedan incorporar nuevas tecnologías.

f. Los vehículos eléctricos serán mayoría. Estos serán impulsados por páneles solares.

g. Más del 10% de la demanda de la electricidad mundial será abastecida por medio de células fotovoltaicas. Paneles solares inmensos, incrementados en su poder con nanotecnología, producirán tasas de conversión de energía solar a electricidad sin precedentes.

h. La generación de *vida artificial*[14] será cada vez más aceptado por los científicos como una forma de resolver problemas del mundo real. Recientemente, en el Instituto Craig Venter, un grupo de científicos encabezados por el Premio Nobel Hamilton Smith y Craig Venter, pudo crear por primera vez vida artificial. *Mycoplasma laboratorium* es una nueva especie de bacteria que se crea en forma artificial y deriva del código genético del *Mycoplasma genitalium*, que consta de 482 genes formados por 580,000 pares de bases. Los científicos comenzaron a reducir los genes de *M. genitalium* hasta un mínimo de 382, que fueron los necesarios para que la bacteria pudiera conservar la vida. Luego, la síntesis del cromosoma con 382 genes se colocó en una célula de la especie *M. genitaiium* para crear *M. laboratorium*. Por medio de su nuevo ADN artificial la célula pudo reproducirse generando proteínas y nuevas células.

i. La medicina podrá ser personalizada. Han Cao, fundador de la empresa Nanomatrix, y diseñador de un revolucionario chip de nanofluidos, estima que para los inicios de la década del 2020, los individuos podrán obtener la secuencia completa de su ADN por menos de 100 dólares. Esta nueva tecnología implicará un cambio radical en la medicina, ya que muchos tipos

de tumores cancerígenos, por ejemplo, podrán ahora tener un tratamiento personalizado según el perfil genético único del individuo.

j. Los vuelos comerciales espaciales comenzarán a ser frecuentes. El *Puerto Espacial América*, *Spaceport America*[15], es el primer puerto espacial comercial en ser construido en el mundo. El mismo se encuentra ubicado cerca de *White Sands Missile Range*, Nuevo México. Por otra parte, el primer vuelo comercial al espacio lo realizará *Virgin Galactic* y está planeado para realizarse en el año 2011. El costo[16] del boleto de avión es de 200,000 dólares americanos. Los aviones con capacidad para 6 pasajeros y dos tripulantes, volarán a una velocidad de 4,200 km/h y a una altitud de 100 km. En la **figura 9** se pueden observar los aviones *SpaceShipOne* de Kármán Line y el *WhiteKnight2* de Virgin Galatic.

(a) (b)

Figura 9. Los aviones que realizarán viajes al espacio: a) SpaceShipOne y b) WhiteKnight2

k. Las ciudades sustentables o eco-ciudades comenzarán a ser populares en los países desarrollados. Estas ciudades estarán compuestas por edificios bioclimáticos, vehículos no contaminantes, tendrán la particularidad de tener emisiones nulas de gases de efecto invernadero, y se reciclará y reutilizará el 100% de los residuos y las aguas. Una *eco-ciudad* deberá ser autosuficiente desde, prácticamente, todos los puntos de vista: energético, salud, alimentación, educación, servicios, etc. Se estima que la población ideal para una eco-ciudad es de 500,000 habitantes. Dongtan, en las afueras de Shanghái, en China, en la desembocadura del río Yangtsé con el Océano Pacífico, es la primera eco-ciudad del mundo y se cree que estará habitable para fines del año 2010.

Figura 10. Dongtan, en China: la primera eco-ciudad del mundo.

12.2.1 PROYECTOS RELACIONADOS A LA SEGUNDA GENERACIÓN DE ROBOTS

A continuación se describen de manera cronológica algunos posibles proyectos relacionados al *hombre artificial* que podrían estar funcionando en el año 2020, provocando, evidentemente, un progreso disruptivo en ciencia y tecnología.

2020-1 Narices electrónicas.

Este tipo de sensores, que trabajan en grupos de 6 a 32, tienen la capacidad para distinguir y reconocer aromas, producto de las combinaciones de gases y elementos volátiles. Las narices más avanzadas utilizan sensores de gas de muy bajo consumo, como son los del sistema *micro-electrónico-mecánico, MEMS*. Actualmente las narices electrónicas se están comenzando a utilizar para detectar cítricos sanos de enfermos, el grado de frescura en la carne de pescado, la calidad del aire ambiental, enfermedades de la piel, diferenciar calidad de alimentos y materias primas, cepas que conforman un tipo de vino, etc. En los próximos años, seguramente, existirán robots con el sentido del olfato.

2020-2 Lenguas electrónicas.

Este tipo de sensores químicos se están comenzando a utilizar para obtener medidas del sabor y controlar la calidad de los alimentos. Una *lengua electrónica* se puede definir como un instrumento analítico que reproduce en forma artificial la sensación del sabor. Se compone básicamente de un conjunto de sensores que miden una propiedad determinada de la muestra. La respuesta del conjunto de sensores ofrece una huella característica para cada especie de la muestra. Finalmente, la suma de todas las huellas permite establecer un patrón de reconocimiento para cada sabor. Las lenguas electrónicas pueden detectar productos contaminantes que alteren la calidad del alimento, impurezas y sustancias tóxicas, clasificar distintos sabores, analizar la calidad del agua mineral, detectar si los granos de una plantación de café tienen calidad de exportación, etc. En la industria vinícola una lengua electrónica, por ejemplo, puede discriminar entre varios vinos de una misma variedad, año o denominación de origen. En los próximos años contaremos seguramente con robots que tengan incorporado el sentido del gusto.

2020-3 Telescopio SKA[17].

IBM está diseñando una computadora para el proyecto *telescopio SKA*, *square kilometre array*, de 20 petaflops para el año 2011-2012. Sin embargo, los científicos reconocen que para el año 2022 requerirán una máquina con un poder de cómputo 50 veces superior. Esta máquina deberá procesar y almacenar 10^{18} exabytes de datos. Su poder de cómputo sería equivalente al de 1 billón de computadoras personales actuales y para su funcionamiento, con la tecnología existente hoy en día, requeriría una estación con un poder nuclear de 500 megawatt.

2020-4 Papel y plumas electrónicas.

El papel electrónico es un tipo de papel convencional con miles de sensores. Cuando se escribe en el papel con una pluma electrónica, los sensores convierten la escritura en comandos de computadora. Esto permitirá a los individuos, por ejemplo, enviar email y faxes. Cuando el individuo termine de escribir,

seleccionará la caja de envío en el papel, y enviará el mensaje correspondiente. Actualmente Ericsson, el fabricante sueco de teléfonos celulares, produce la pluma electrónica. El papel electrónico lo produce la fábrica sueca Anoto[18].

2020-5 Nanorobots.

En el laboratorio de bioinstrumentación del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) ya han dado algunos pasos en el desarrollo de nanorobots. Hasta la fecha, han desarrollado cientos de robots trípodes del tamaño de un pulgar, equipados con computadoras integradas, biosensores y microscopios de barrido de túnel, capaces de medir y ensamblar estructuras a escala molecular (ETC, 2003). Estos nanorobots, conocidos con el nombre de *nanowalkers*[19], con apenas 32 mm de tamaño, son capaces de ejecutar 4 mil maniobras y 48 millones de instrucciones por segundo. Los científicos del MIT consideran que en los próximos años este ejército de nanorobots tendrá la capacidad para manipular moléculas aisladas y reordenar átomos.

2020-6 Memoria óptica 3D basada en proteínas.

Los materiales que se han utilizado hasta la fecha en la microelectrónica y en particular en la construcción de semiconductores han sido inorgánicos. Las nuevas tecnologías, sin embargo, nos conducirán a una nueva era, al empleo de nuevos materiales orgánicos, como proteínas, que cambiarán significativamente el diseño y construcción de los nuevos dispositivos al combinar materiales biológicos y no biológicos. Los materiales orgánicos permiten la modificación en su síntesis planteando distintas posibilidades tanto en los enlaces como en la distancia y distribución de las nubes electrónicas. Es decir, se puede modificar la capacidad de conducción electrónica, su velocidad y situación espacial, características que los hacen extremadamente atractivos.

La bacteriorrodopsina —*bacteriorhodopsin*—, por ejemplo, es una proteína color púrpura que se encuentra en la membrana de la bacteria *halobacterium salinarum*, y que vive en condiciones extremas en ambientes acuáticos salados, a altas temperaturas y bajo situaciones casi anaeróbicas —sin la presencia de oxígeno—. Al estar expuesta a estados tan extremos, esta proteína tiene propiedades que son muy difíciles de localizar en el material inorgánico. Es estable a temperaturas superiores a 140°C, no se ve afectada por la exposición al aire y al sol durante años, tolera altas concentraciones de sal y puede ser incorporada, por ejemplo, al plástico sin que su estructura sufra modificaciones. La bacteriorrodopsina es una proteína que recoge la luz y por lo tanto puede ser utilizada en el futuro próximo, como elemento foto-activo, en dispositivos ópticos, incluyendo memorias de computadoras, puertas lógicas o conmutadores, moduladores ópticos o en nanocomputadoras basadas en proteínas. Al absorber la luz, las moléculas de bacteriorrodopsina bombean protones a través de la

membrana de la célula, generando un potencial electroquímico que sirve como fuente alternativa de energía para los procesos metabólicos. Wilson señala tres grandes ventajas de un dispositivo de memoria construido con estas proteínas: a) las operaciones de lectura-escritura se podrían realizar en paralelo, b) se utilizaría la óptica en la que los fotones son mucho más rápidos que los electrones y c) la memoria podría ser tridimensional, lo cual permitiría almacenar densidades de 10^{11} a 10^{13} bits por cm^3 (Wilson et al.; 2002).

2020-7 Sensores neurales.

Los científicos se encuentran trabajando actualmente en la construcción de sensores neurales y chips que podrán ser colocados en el cerebro de los individuos. Este tipo de sensores y chips permitirán, por ejemplo, al individuo controlar las prótesis de sus extremidades.

2020-8 Tarjetas inteligentes o chips de identificación universales.

Este tipo de tarjetas, dado su *nano tamaño*, se podrán insertar debajo de la piel, en el brazo, de cualquier individuo. Las tarjetas o chips contendrán información sobre la identificación personal, datos de nacionalidad, historial médico —probablemente con datos clave del genoma personal—, educación y empleos anteriores, cuentas bancadas y financieras, seguro social, situación crediticia, etcétera.

2020-9 Realidad virtual.

Se utilizarán tecnologías de la realidad virtual para el entrenamiento y capacitación del personal de todo tipo de empresas y fábricas. También para el diseño de productos y la simulación de todo tipo de modelos.

2020-10 Robots humanoides en Corea del Sur.

El ministro de comercio, industria y energía de Corea del Sur anunció que espera que entre los años 2015 y 2020 todos los hogares coreanos cuenten con un robot que los pueda auxiliar en las actividades de la casa. Predice también que estos robots domésticos tendrán una gran inteligencia y llama a los grupos de investigación a desarrollar un código de ética para estas máquinas conscientes, con el objeto de evitar el abuso por parte de los humanos o viceversa (McGee, 2007). Estima además que para el año 2018 los robots podrán realizar diferentes cirugías de manera rutinaria. En la figura 11 se puede observar, por ejemplo, el robot sudcoreano EveR-l socializando con niños. El robot puede sostener una conversación y mostrar diferentes expresiones faciales, muy útiles en una conversación cara-a-cara.

Figura 11. El robot sudcoreano EveR-1

12.3 TERCERA GENERACIÓN DE ROBOTS - AÑO 2030

Hace unos 10,000 años, el hombre comenzó a domesticar plantas y animales. Ha llegado la hora de domesticar las moléculas, *señala* Susan Lindquist. La naturaleza, indudablemente, es la maestra experta en lo que se refiere a elaborar, átomo por átomo y molécula por molécula, extraordinarios materiales y máquinas moleculares. Imitando a la naturaleza, los científicos tratan ahora de diseñar nuevos materiales y máquinas moleculares avanzadas. La idea es simple, así como el agua y la arcilla se pueden combinar para fabricar ladrillos, y luego los ladrillos se pueden utilizar para construir casas o edificios de veinte pisos, elementos básicos naturales como los aminoácidos se pueden usar para desarrollar estructuras como los péptidos y las proteínas, los que a su vez se pueden emplear para una variedad de propósitos (Cairo, 2009).

Cuando los bioquímicos construyen *polímeros* —macromoléculas o cadenas moleculares—, las moléculas se agrupan sin ningún orden. Pero en las máquinas de síntesis de genes, las moléculas se agrupan siguiendo un orden determinado. En los próximos años se podrán desarrollar nanomáquinas[20] muy útiles de péptidos y proteínas, a partir de aminoácidos, en diferentes dominios de conocimiento. Los biotecnólogos, por ejemplo, pueden aprovechar el autoensamblaje molecular para elaborar nuevos materiales nanobiológicos, nanobioestructuras como nanotubos para fundición de metales, nanordenadores de proteínas, nanovesículas para encapsular medicamentos, y armazones de nanofibras para el cultivo de tejidos nuevos (Zhang, 2005). Es importante considerar, sin embargo, el hecho de que las máquinas de proteínas, nanomáquinas, se detienen cuando se las seca, se congelan cuando se las enfría y se cuecen cuando se las calienta. Esto indudablemente podría implicar un gran obstáculo. Pero así como utilizamos los ladrillos para construir un edificio de 20 pisos, pero no el agua y la arcilla, y mucho menos los granos de arena, la ¡dea es utilizar estas máquinas de proteínas para construir nanomáquinas de materiales más resistentes que las proteínas. Así en los casos donde la máquina de proteína se seque, se congele o se queme, se utilizarán nanomáquinas de materiales mucho más resistentes. Como estarán construidos de materiales más duros, rígidos y estables que las proteínas, podrán ejercer fuerzas mayores, moverse con mayor precisión y soportar condiciones extremas. Estas nanomáquinas de materiales (Zhang, 2003), construidas no sólo de proteínas, podrán actuar como ensambladores universales y nos permitirán colocar átomos, moléculas y macromoléculas en cualquier posición razonable siempre que la naturaleza, que incluye las leyes de la física, lo permita.

Nuestras estimaciones indican que para el año 2030, prácticamente 100 años después de que Kurt Gödel estableciera los fundamentos de la computación teórica con su trabajo sobre lenguajes formales universales y los límites de las pruebas y cálculos, y 200 años después del primer diseño mecánico de Charles Babbage, las máquinas personales serán más de diez mil veces[21] más veloces que las actuales,

por lo que podrán procesar aproximadamente 10’320,000 MIPS, es decir 1.03×10^{13} instrucciones por segundo. Se podría inferir entonces que estas computadoras personales podrán exhibir un comportamiento similar al de 0.7741 gramos del cerebro humano o 0.0516% del mismo. Estos artefactos podrían aprender rápidamente de simulaciones mentales y manejar propiedades físicas tales como forma, peso, longitud, textura y apariencia de las cosas; factores culturales como nombre, valor, propósitos; y factores psicológicos como metas, creencias, sentimientos y preferencias. En la tabla 4 se pueden observar las equivalencias entre las velocidades de procesamiento del cerebro humano y las computadoras personales del año 2030 considerando la complejidad del cerebro (C_{CH}) según diferentes científicos.

C*Ch* 1.03×10^7 MIPS	**Moravec (10^{14})**	**Kurzweil (2×10^{16})**	**Otros (6×10^{18})**
Gramos del CH	154.8191	0.7741	0.0026
% del CH	10.32127%	0.05160%	0.0000017%

Tabla 4. Velocidades de procesamiento: CH y máquina. Año 2030

El futuro en el año 2030 se observa inquietante. El progreso tecnológico se presentará, indudablemente, en diferentes áreas. A continuación se describe de manera concisa algunas tendencias de lo que puede ocurrir en el mundo en esa fecha:

a. Naciones Unidas estima que el mundo tendrá 8.3 billones de habitantes, que consumirán aproximadamente 3,050 kilocalorías, *kcal* —actualmente el consumo es de 2,800 kcal—. Los 10 países más poblados[22] representarán el 63% de la población mundial. El incremento en la población y en el consumo de kilocalorías implicarán la necesidad de contar con un billón adicional de toneladas de cereales.

b. La *Agencia Espacial Europea* por medio de su programa *Aurora* espera haber enviado la primera misión tripulada a Marte.

c. Nueva Zelanda considera que todos sus vehículos deberán ser híbridos, utilizarán electricidad o biocombustibles.

d. India se convertirá en la nación con la mayor población a nivel mundial con 1,449 millones de habitantes, desplazando a China que tendrá 1,346 millones.

e. Entre los años 2000 y 2030 se desforestarán 3 millones de km^2. El equivalente a 6 veces la superficie de Francia.

f. Habrá una gran revolución en la alimentación. Se pasará de una agricultura horizontal a una agricultura vertical, como la hidropónica.

g. El agua será una amenaza para los países del norte africano y Asia central.

h. George Friedman (2009) estima que los países avanzados competirán ferozmente por inmigrantes, debido principalmente a la declinación de la tasa de natalidad.

i. Las tecnologías solar, nuclear y eólica colectivamente generarán más del 75% de la electricidad mundial.

j. Aviones hipersónicos recorrerán el mundo[23]. A 25 km de altura, con un rango de 20,000 km —dada su eficiencia en la utilización de combustible a velocidades sónicas y supersónicas— y a una velocidad *Match 5* —aproximadamente 6,000 km/hora—, aviones con una longitud de 150 metros permitirán realizar el recorrido de Europa a Australia en menos de 4 horas.

12.3.1 PROYECTOS RELACIONADOS A LA TERCERA GENERACIÓN DE ROBOTS

A continuación se describe de manera cronológica los proyectos relacionados con el *hombre artificial* que podrían estar funcionando en el año 2030.

2030-1 Nanocomputadoras y computadoras de proteínas.

El Laboratorio de Investigación Naval de los Estados Unidos, IBM, Genes Corporation, así como las empresas japonesas NEC, Hitachi, Toshiba, Matsushita, Fujitsu, Sanyo y Sharp han iniciado esfuerzos de investigación a gran escala para desarrollar interruptores moleculares, mecanismos de memoria y otras estructuras que se puedan incorporar a una computadora basada en proteínas, biochip. Estas computadoras traerán un adelanto significativo, ya que los ingenieros la utilizarán para disminuir el tamaño y costo de los circuitos, y para acelerar enormemente sus operaciones. Drexler (1986) señala que con componentes de unos pocos átomos de ancho, una simple computadora mecánica cabría en la centésima parte de un micrón cúbico, muchos miles de millones de veces más compacto que los microelectrónicos actuales. Aun con mil millones de bytes de almacenamiento, el tamaño de una computadora sería similar al de una bacteria. Si bien las señales mecánicas son 100,000 veces más lentas que las eléctricas, en la nanocomputadora deberían viajar mucho menos, una millonésima parte, lo que equivaldría a que este nanodispositivo fuera miles o quizás cientos de miles de veces más rápido.

2030-2 Base espacial en la Luna.

Keiji Tachikawa, máximo responsable de la *Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA*, señaló en una entrevista que para el año 2025, Japón construirá una base espacial en la Luna[24]. Esta base permitirá posteriormente la exploración de otros planetas del sistema solar. En la base lunar el trabajo será desarrollado por humanos y *robots humanoides*, área que lidera la industria japonesa y en la que se prevé enormes beneficios, tanto económicos como sociales, para los próximos años. Versiones más modernas de los robots *Asimo* de Honda y Qrio de Sony trabajarían en el ambiente hostil de la superficie lunar construyendo la base, telescopios y explorando el satélite. Además de Honda y Sony, NEC y Toshiba tendrían un papel igualmente importante en la base. NEC lidera actualmente el desarrollo de *satélites robots*. Toshiba, por su parte, construyó parte del laboratorio de la *Estación Espacial Europea* y desarrolló un brazo robótico preciso de 9.7 metros de longitud. Honda sería además la encargada de desarrollar automóviles para la base.

2030-3 Comportamiento humano.

Se estima que para el año 2030 se entenderán, en términos generales, las bases químicas, fisiológicas y genéticas del comportamiento humano. Tendrán uso generalizado las tecnologías para manipular el cerebro y la mente, y para controlar o influenciar las emociones, el aprendizaje, la agudeza sensorial, la memoria, etcétera.

2030-4 Interruptores y computadoras moleculares.

Científicos de Hewlett-Packard y de la Universidad de California en Los Angeles (UCLA) desarrollaron un *interruptor molecular*, el cual representa la base de cómo trabaja una computadora (Collier et al.; 1999). Los expertos consideran que este dispositivo representa un gran paso para la fabricación de las super computadoras moleculares. Construidas sobre una estructura cristalina, tales computadoras remplazarán algún día a aquellas basadas en *chips* de silicio y serán tan pequeñas como un grano de arroz. El interruptor electrónico fue construido con millones de moléculas de carbono conocidas con el nombre de *rotaxane*, las cuales crecen en una estructura cristalina. Fraser Stoddart señala que el sistema es relativamente simple. Dos anillos interconectados, cada uno formado por dos estructuras que interactúan con estímulos electroquímicos. Un impulso eléctrico crea un movimiento de los anillos al alterar el orden de los electrones, encendiendo así el interruptor al provocar que las dos moléculas se toquen, permitiendo el paso de corriente. Otro impulso restablece el orden como si lo apagara. James Heath considera que estas computadoras del futuro, del tamaño de un grano de arena, serán 100 billones de veces mejores que una Pentium actual en términos de consumo de energía y tendrán el poder computacional de 100 estaciones de trabajo.

2030-5 Desarrollo de las tecnologías atómicas y moleculares.

Las tecnologías atómicas y moleculares ofrecerán la posibilidad de fabricar materiales y máquinas mucho mejores que las actuales, con control y precisión, a partir del reordenamiento de átomos y moléculas.

2030-6 Recolectores inteligentes de datos instalados en el cuerpo.

Este tipo de nanodispositivos, equipado con nanosensores, nanocomputadoras y capacidades extremas de comunicación, estarán inmersos en el cuerpo humano monitoreando el funcionamiento del mismo.

2030-7 Interfaces hápticas.

Este tipo de interfaces permiten una interoperación mediante el estímulo del sentido del tacto a través de fuerzas, vibraciones o movimientos (Incera et al.; 2009). Un ejemplo común de *estimulación háptica* lo representa el modo vibrador de los teléfonos celulares. La palabra háptica, que proviene del griego *háptō* —tocar—, hace referencia en la actualidad, prácticamente, a todo el conjunto de sensaciones no visuales y no auditivas que experimenta un individuo. La percepción háptica, por otra parte, se encuentra relacionada al sistema sensorial y al concepto de *propiocepción*[25] *psicológica extendida*, que implica que cuando utilizamos una herramienta nuestra percepción se extiende. Por ejemplo, un individuo que utiliza un bastón, transfiere su percepción hasta el final del bastón. Las interfaces hápticas encuentran una aplicación natural en los juegos por computadoras. Los *jugadores* pueden utilizar manijas, volantes y pedales con retorno de fuerza para obtener una mayor sensación de realismo e incrementar la experiencia (Incera et al.; 2009). Las aplicaciones actuales, aunque interesantes, son limitadas. Se estima que para el año 2030, las interfaces hápticas tendrán un uso generalizado.

12.4 CUARTA GENERACIÓN DE ROBOTS - AÑO 2040

Richard Feynman[26], el padre de la nanotecnología y Premio Nobel de Física, comenzó una conferencia unos años atrás realizando la siguiente pregunta; *Why cannot write the entire volumes of the Encyclopedia Britannica on the head of a pin?* La cabeza de un alfiler mide 1.58 milímetro de diámetro. Si aumentamos su diámetro 25,000 veces, el área de la cabeza del alfiler será similar al de todas las páginas de la Enciclopedia Británica, 24 tomos, de aproximadamente 820 páginas cada uno. Por tanto, lo único que hay que conseguir es reducir 25,000 veces las dimensiones de las letras de la enciclopedia. ¿Se puede hacer? El poder de resolución del ojo humano es de aproximadamente 0.21 milímetro, que es el tamaño de cualquiera de los puntos que forman las ilustraciones en blanco y negro de la enciclopedia. Cuando uno de esos puntos se reduce 25,000 veces, tiene todavía 80 ángstrom, la diez millonésima parte de un milímetro, $l0^{-10}$m, de diámetro, similar a 32 átomos de un metal

ordinario. En otras palabras, cada punto podría todavía contener en su interior unos mil átomos. Dado que cada punto se puede ajustar fácilmente al requerido por el fotograbado, entonces no debería haber duda alguna de que la Enciclopedia Británica podría caber en la cabeza de un alfiler. Feynman afirmó que la manipulación atómica, átomo por átomo, no violaba ninguna de las leyes de la física y que si bien, en ese momento, no se podía llevar a cabo, era porque los científicos no tenían el instrumental adecuado y había que esperar hasta que éste fuese desarrollado.

En el 2040 estaremos seguramente en la época que Feymann anhelaba, la época de máquinas atómicas y moleculares. El progreso tecnológico en el año 2040 será el factor fundamental para el desarrollo de la civilización humana. Justin Rattner, el director de tecnología de INTEL, señala que las posibilidades de incrementar la inteligencia humana con Inteligencia de máquina se irá conviniendo en más real y más diversa.

Nuestras estimaciones indican que para el año 2040, las máquinas personales serán más de un millones de veces más veloces que las actuales y podrán procesar aproximadamente 1’048,576,000 MIPS, es decir $1.05 \times 10^{*}5$ instrucciones por segundo. Se podría inferir entonces que estas computadoras personales podrán exhibir un comportamiento similar al de 78.64 gramos del cerebro humano o 5.24% del mismo, considerando lógicamente la complejidad establecida por Kurzweil. Es importante observar que según Hans Moravec el poder computacional de las máquinas personales alcanzaría el poder computacional del cerebro humano en el año 2035 aproximadamente.

En la tabla 5 se pueden observar las equivalencias entre las velocidades de procesamiento del cerebro humano y las computadoras personales del año 2040 considerando la complejidad del cerebro (C_{CH}) según diferentes científicos.

C*Ch* 1.03×10^7 MIPS	**Moravec (10^{14})**	**Kurzweil (2×10^{16})**	**Otros (6×10^{18})**
Gramos del CH	15,728.64	78.64	0.26
% del CH	1,048.576%	0.05160%	0.017%

Tabla 5. Velocidades de procesamiento: CH y máquina. Año 2040

A continuación se describen brevemente algunas predicciones de lo que ocurrirá en el mundo en esa fecha:

a. El calentamiento de la Tierra puede provocar la desaparición del hielo del polo norte durante el verano de 2040, si continúan las emisiones de gas que provocan el efecto invernadero en la Tierra.

b. El hidrógeno comenzará a ocupar un lugar preponderante como combustible en todo el mundo.

c. Los espermatozoides y los óvulos podrán ser derivados de células madres pluripotentes. Combinados podrán generar embriones humanos. Esto permitirá e Implicará que cualquier Individuo, independientemente de la edad, pueda procrear hijos.

d. Los bebés podrán ser prácticamente diseñados con el propósito principal de incrementar su salud.

e. Los adultos mayores a 65 años serán 1.3 billones en el año 2040, equivalente al 14% de la población mundial. En los países desarrollados el número de adultos mayores superará la cifra del billón y representará el 76% de la población total de esos países. El incremento de este grupo de la población transformará la naturaleza económica y social del planeta. Los países de todo el mundo verán afectados los sistemas de pensión y de salud pública.

f. Diferentes organizaciones estiman que para el año 2040, una de las formas comunes de turismo serán los viajes al espacio.

g. Las energías limpias serán de uso generalizado. Nanocélulas de combustible, energía eólica de levitación magnética, células solares híper-eficientes y nuevas generaciones de reactores nucleares, así como energía de fusión desplazarán a los combustibles fósiles hasta la obsolescencia.

12.4.1 PROYECTOS RELACIONADOS A LA CUARTA GENERACIÓN DE ROBOTS

A continuación se describen algunos posibles proyectos podrían estar funcionando en el año 2040.

2040-1 Productos biónicos.

Este tipo de productos permitirá en algún momento la fusión hombre-máquina, la fusión de lo orgánico con lo inorgánico dando lugar a ciberorganismos, la fusión de la nanotecnología con la biotecnología dando lugar a la nanobiotecnología. Ejemplos de este tipo de aplicaciones son los siguientes: máquinas nanométricas dentro del cuerpo humano para realizar funciones celulares, materia viva trabajando como parte de alguna máquina, combinación de material biológico y no biológico en la generación de nuevos materiales para los procesos de autoensamblaje o autoreparación, etcétera.

2040-2 Medicina regenerativa.

Se estima que para el año 2040, los órganos, los tejidos, los huesos y las extremidades del cuerpo podrán ser regeneradas[27] por los avances en los estudios sobre *células madres*.

2040-3 Traducción automática instantánea.

Un equipo instalado en el oído de los individuos permitirá traducir cualquier conversación que se desarrolle en otro idioma. También existirá la tecnología para que en lentes de contacto se puedan mostrar los textos en el campo de visión del individuo. Si bien, en la actualidad, existen algunos prototipos experimentales, se estima que para la década del 2040 la tecnología podrá ser utilizada en forma masiva. Este tipo de tecnología, disruptiva, implica la apertura de las comunicaciones para millones de individuos.

2040-4 Sistemas holográficos.

Es un sistema que utiliza los principios de *holografía*[28] para obtener imágenes tridimensionales —desde cualquier ángulo de observación— sin necesidad de utilizar aparatos externos de visión como gafas o cascos especiales. En los sistemas holográficos se busca que cada *vóxel*[29] en la escena emita rayos de luz con amplitud, fase y longitud de ondas. La fase es el componente principal de la percepción de profundidad. Se calcula que para el año 2040 los sistemas holográficos serán comunes. Cuando un individuo se comunique, por ejemplo, por un *iPhone*, podrá observar en un holograma al individuo que se encuentre del otro lado de la línea. Las aplicaciones serán comunes en el diseño industrial, la medicina, las comunicaciones, etc. Podremos ver televisión sin aparatos.

2040-5 Cambios acelerados en otras disciplinas.

Bostrom (2000) señala que la investigación científica y tecnológica, así como el pensamiento filosófico, se llevará a cabo con mayor velocidad y eficacia cuando se realice con máquinas más inteligentes que los seres humanos. Por lo tanto, dado que las *máquinas inteligentes* serán multipropósito, es de suponer que el progreso tecnológico sea global.

2040-6 Claytronics.

Es un concepto abstracto que combina básicamente la nanotecnología —robots a nanoescala— y la computación con el objeto de generar *átomos claytronics* o catoms. Éstos a su vez tienen la capacidad de conectarse entre sí formando objetos tangibles en 3-D —millones de robots *catoms* con menos de un milímetro de diámetro—, con los que un individuo puede interactuar en forma dinámica. Claytronics se fundamenta en las ideas de la *materia programable*[30] (Goldstein et al.; 2005; Toffoli y Margolus, 1991), y tiene todo el potencial para afectar en gran medida muchas áreas de la vida cotidiana, tales como las telecomunicaciones, las interfaces hombre-máquina, y el entretenimiento. Los

experimentos y las investigaciones más profundas sobre *catoms* se llevan a cabo en un proyecto conjunto entre la Universidad de Carnegie Mellon e Intel. Los proyectos varían desde la exploración del potencial de la robótica reconfigurable modular y el software necesario para controlar el cambio de forma (De Rosa et al.; 2009), hasta la construcción de pequeños cubos, grandes globos de helio (Karagozler et al.; 2006) y automóviles[31]. Otro proyecto apasionante es el sistema de larga distancia *Parió.* Así como el audio y video proporcionan la estimulación auditiva y visual, *pario* proporcionará una sensación auditiva, visual y física. Un usuario será capaz de oír, ver y tocar al agente con quien se está comunicando de una manera realista. *Pario*, en definitiva, podría ser utilizado efectivamente en muchas disciplinas profesionales, desde el diseño de ingeniería, la educación y la asistencia sanitaria hasta el entretenimiento y actividades de ocio como los videojuegos (Goldstein et al.; 2009). En la actualidad los *catoms* se mueven en dos direcciones, pero el objetivo en el futuro cercano es lograr que se desplacen dinámicamente en tres dimensiones. Para esto, uno de los retos más interesantes consiste en la construcción de nuevos lenguajes de programación —Meld y LDP, *Locally Distributed Predicates*— y algoritmos de *actuación colectiva* (Campbell y Pillai, 2008) que permitan la comunicación y control de millones de catoms a escala milimétrica. Jason Campbell, uno de los Investigadores de Intel, señala que cuando comenzó a trabajar en el *proyecto claytronics* pensó que *ciaytronics* podría ser realidad dentro de 50 años, dos años después de haber comenzado a trabajar en el mismo, estima que en dos años se podrán observar en el mercado proyectos reales de claytronics.

12.5 QUINTA GENERACIÓN DE ROBOTS - AÑO 2050

Imagine un tiempo en que las máquinas sean más inteligentes que los humanos, un mundo en que robots autónomos satisfagan nuestras necesidades emocionales, y una economía manejada por humanos con implantes cerebrales para incrementar la capacidad del cerebro (Mulhall, 2002). Ese mundo y ese tiempo puede que no estén lejos, pero cuesta a uno poder imaginárselo.

Una quinta generación, ahora de hombres artificiales, se podría desarrollar para el año 2050, la época del Inicio de la singularidad tecnológica, la época de superinteligencia. *Lo que podemos hacer, depende de lo que podemos construir*, señala Drexler. El hombre con la ayuda de las máquinas comenzará a explorar el universo. Kurzweil señala que la inteligencia comenzará a saturar a la materia y a la energía en su medio para poder dispersarla más allá de sus orígenes en la Tierra.

Nuestras estimaciones indican que para el año 2050, las máquinas personales serán más de cien millones de veces más veloces que las actuales y podrán procesar aproximadamente más de cien mil millones de MIPS, es decir 1.07×10^{17} instrucciones por segundo. Se podría inferir entonces que estas computadoras

personales podrían exhibir un comportamiento similar al de 7,989.65 gramos del cerebro humano o 532.64% del mismo, según la complejidad del cerebro humano establecida por Kurzwell.

C*Ch* **1.03 × 10^{11} MIPS**	**Moravec (10^{14})**	**Kurzweil (2 × 10^{16})**	**Otros (6 × 10^{18})**
Gramos del CH	1’597,930.22	7,989.65	26.63
% del CH	106,528.68%	532.64%	1.77%

Tabla 6. Velocidades de procesamiento: CH y máquina. Año 2050

A continuación se describen brevemente algunas predicciones acerca de lo que ocurrirá en el mundo en esa fecha

a. Naciones Unidas estima que el mundo tendrá 9.10 billones de habitantes e India será el país más poblado del planeta. En promedio cada mujer tendrá 2 hijos, a diferencia del índice de fecundidad del año 2005 que indicaba 2.6 hijos por mujer.

b. El 25% de la población de los Estados Unidos, calculada en 425 millones de habitantes, será de origen latino, según estima la oficina encargada del censo en dicho país.

c. Los científicos estiman que la capa de ozono sobre la Antártida será restaurada a un nivel similar a la que tenía en 1980.

d. Las casas, al menos en los países desarrollados, serán *verdes*: tendrán techos de paneles solares, turbinas de viento en el patio o en el techo, un garaje para un auto volador, robots humanoides que se encargarán de las tareas del hogar, etcétera.

e. Cientos de millones de individuos de todo el mundo sufrirán Alzheimer, uno de los tipos más comunes de demencia. Esta enfermedad será común, básicamente por el envejecimiento de la población. Más del 60% de los individuos que tienen Alzheimer en la actualidad tienen más de 85 años de edad.

f. Corea del Sur tendrá la mayor proporción, 37.3%, de individuos de la tercera edad en todo el mundo, superando de esta forma a Japón, 36.5%, e Italia, 34.4%. En el año 2010, Corea del Sur es el país con la mayor *esperanza de vida* al nacer, con 84.4 años.

g. Hoteles en el cielo. La empresa *Seymourpoweli*[32] presentó recientemente un concepto visionario de transporte: un autodirigible gigante, vertical,

propulsado por energía natural y destinado al transporte de viajeros con estilo. El concepto de hotel en el cielo sugiere cuatro apartamentos dúplex y cinco apartamentos más pequeños. El hotel autodirigible podría albergar 100 pasajeros y 20 tripulantes. Inicialmente, se podrían realizar viajes de Nueva York a Londres en aproximadamente 37 horas y de Nueva York a Shanghái en 4 días, según las condiciones del viento.

12.5.1 PROYECTOS RELACIONADOS A LA QUINTA GENERACIÓN DE ROBOTS

A continuación se describen algunos posibles proyectos que podrían estar funcionando en el año 2050.

2050-1 Cerebro humano en una máquina.

Kurzweil estima que para el año 2045 seremos capaces de cargar el cerebro humano de un individuo en una máquina. Se podrá capturar su personalidad, la memoria, sus habilidades, su historia.

2050-2 Amplificación de la inteligencia.

Los artefactos que exhiban una inteligencia superior estarán basados en hardware y software, por lo que es de suponer que se puedan copiar fácilmente. La inteligencia, por lo tanto, se amplificará y multiplicará en forma prácticamente exponencial.

2050-3 Máquinas inteligentes diseñadoras.

La próxima generación de máquinas inteligentes será diseñada seguramente por las máquinas inteligentes del año 2050. Esta próxima generación será más inteligente y será diseñada en un tiempo menor que la anterior. Vinge (1993) señala que este principio —aceleración, reducción de tiempos— guiará indefectiblemente a la *singularidad*.

2050-4 Prótesis cerebrales inalámbricas.

Las prótesis cerebrales comenzaron a comercializarse en el año 2010. Se estima que para el año 2050, los individuos podrán enviar mensajes y comunicarse, en general, de manera inalámbrica por medio de auriculares y visores. Este tipo de comunicación será prácticamente como la telepatía. Es decir, la transmisión de ideas, información, sentimientos, etc., entre individuos, por medio de la mente.

2050-5 Biostasis reversible.

La técnica de *biostasis* en humanos fue descrita por Eric Drexler en 1986, en su libro *Engines of Creation: The Conning Era of Nanotechnology* (Drexler, 1986). El concepto, futurista y de ficción en aquella época, refiere básicamente a la capacidad de los tejidos para mantenerse estables durante un periodo de tiempo indefinido. El término también se ha utilizado en los últimos años como sinónimo

de criónica. La técnica de biostasis reversible, cuando esté disponible, permitirá que los individuos se puedan preservar *congelados*, mediante el cierre de su metabolismo y la preservación de las estructuras celulares con arreglos complejos de *nanobots*[33], hasta que la ciencia y la tecnología encuentren una solución a su enfermedad y se pueda reparar el daño causado por ésta. Para un observador casual el Individuo aparecerá como *muerto*. Los fluidos del individuo, para evitar daños en la célula por la congelación, se remplazan por un líquido conservante, y un ejército de nanobots bloquearán y protegerán cada célula evitando cualquier daño o deterioro. En los Estados Unidos ya existen empresas, como *Alcor*[34], que se dedican a la preservación de individuos o cabezas en nitrógeno líquido después de la muerte legal. Sin embargo, la mayoría de los científicos estiman que la tecnología utilizada no es apropiada, y se necesitarán algunas décadas hasta que la técnica de biostasis reversible se pueda utilizar en forma correcta.

2050-6 Autos voladores.

Un auto volador es un vehículo que legalmente se puede desplazar en una carretera y puede despegar, volar y aterrizar como un avión. La mayoría de los diseñadores y tecnólogos que trabajan en las industrias automotriz y aeroespacial están de acuerdo en que la década del 2050 será seguramente la década de los autos voladores. En la actualidad, los ingenieros están trabajando en algunas tecnologías que serán necesarias para que el automóvil volador sea una realidad: a) sistemas de navegación automatizados, b) sistemas de tráfico aéreo organizados por capas, c) despegue vertical y/o diseño de múltiples pistas de despegue y aterrizaje en las ciudades, d) disminución de los ruidos provocados por máquinas voladoras. En realidad, se estima que podremos observar vehículos voladores no tripulados muchos antes de esa fecha. Según la revista *Forbes* [35], la compañía de Massachusetts *Terrafugia*[36] planea construir los primeros vehículos voladores para fines del año 2011. *The Transition* (**figura 12**) aparecerá con un costo de mercado de 196,000 dólares.

Figura 12. The Transition, de Terrafugia.

2050-7 Teletransportación.

Esta será el proceso fundamental del corazón de las computadoras cuánticas. Michio Kaku, el cofundador de *String Field Theory*, predice que la nación que dominará al mundo, será aquella que sea experta en el nano mundo de la computación cuántica y atómica. David Darling, por otra parte, estima que para teletransportar un humano se necesitará de una máquina que pueda descomponer, clasificar y enviar más de un trillón de átomos, para luego, en la nueva ubicación poderlo “reensamblar" en perfecto orden.

Capítulo 13
COMENTARIOS FINALES

El invento de almacenar información por medio de diversas técnicas y tecnologías representa, según muchos lingüistas y biólogos, el hito que impulsó a los seres humanos a convertirse en la especie superior y más Inteligente que existe hoy en día en este planeta (Hilbert, 2009). El arqueólogo Christopher Henshilwood (2002) señala que el ejemplo más antiguo de arte abstracto, que define el comportamiento moderno de los humanos, data de hace más de 70,000 años y fue descubierto en las cuevas de Biombos, sobre el Océano índico, en Sudáfrica. Henshilwood menciona a la revista *Science* que el hallazgo es el primer ejemplo de que nuestros antepasados utilizaban pensamiento abstracto. El *simbolismo*, que se manifiesta en las cuentas de un collar de conchas, es la piedra angular de lo que se observa posteriormente: el arte rupestre, los adornos personales, así como tipos de comportamiento más complejos. Este sistema de Intercambio de información, el manejo de los símbolos y el lenguaje articulado explican, en cierta forma, la conducta del ser humano, dándole una connotación omnipresente y casi mística (Hilbert, 2009).

Hilbert (2009) señala que la fascinación con el poder de los símbolos y los significados quedó demostrado una vez más a mediados del siglo anterior cuando James Watson y Francis Crick (Watson y Crick, 1953) descifraron la estructura del ácido desoxirribonucleico, ADN, sentando las bases de la genética moderna. Watson señala en sus memorias *DNA, The Secret of Life* (Watson, 2003) que el libro *What's Life?* del científico con inquietudes filosóficas Erwin Schrödinger (1944), uno de los más grandes de la mecánica cuántica, lo inspiró a investigar los genes, lo que le permitió más adelante el descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN. Con este descubrimiento, la mística acerca del significado de la información ingresó, indudablemente, a una nueva dimensión. Algunos científicos explican el fenómeno de la vida inteligente como la expresión de complejos patrones de información, con códigos genéticos que se transmiten de una generación a otra, y sistemas de conductas que se aprenden (Yockey, 2005; Baum, 2004). Otros investigadores han afirmado en fechas más recientes que, incluso, todo el universo físico se encuentra

construido sobre los cimientos de la *información* y el *conocimiento* (Bekenstein, 2003; Talbot, 1991).

En los últimos años, sin duda, el conocimiento, el acervo de conocimiento científico ha crecido en forma exponencial, independientemente de la naturaleza del conocimiento. Los avances en ciencia y tecnología son tales que el cambio de paradigma científico, como señala el gran epistemólogo estadounidense Thomas Kuhn en su libro *The Structure of Scientific Revolutions* (Kuhn, 1996), el patrón de desarrollo usual de la ciencia madura, será cada vez más frecuente, y el ciclo del paradigma, en consecuencia, será cada vez más corto. En el campo de la astrofísica, por ejemplo, se están construyendo sensores extremadamente poderosos para estudiar el espacio infinito. En laboratorios de bioinstrumentación se han dado los primeros pasos para la construcción de nanorobots, capaces de manipular moléculas aisladas y reordenar átomos. Los avances de la nanotecnología permiten inferir que en los próximos años se podrá monitorear y vigilar el estado de salud de los individuos por medio de nanosensores inmersos en el cuerpo. En el campo de la biología se ha logrado dilucidar el genoma humano mucho antes de lo esperado. En el campo de neurorobótica se han desarrollado prótesis cerebrales que permiten a pacientes tetrapléjicos mover objetos con el *pensamiento*. Los físicos esperan avanzar en la búsqueda de una teoría unificada, mediante el gran colisionador de hadrones. Recientemente se ha construido una computadora compuesta por moléculas de ADN capaz de realizar 330 trillones de operaciones por segundo con una exactitud de 99.8%, capaz de detectar actividad cancerosa en una célula y además liberar una droga o fármaco contra el cáncer después del diagnóstico. Predecir el futuro en estas circunstancias es una tarea extraordinariamente difícil, que se puede convertir en una misión casi imposible si el horizonte se extiende un poco más allá de una decena de años. Las tecnologías que ahora forman parte de la ciencia ficción y que incluso se desconocen en la actualidad, seguramente formarán parte de lo cotidiano en el año 2050.

La inteligencia artificial, entre otras disciplinas o buscando la unificación mediante la convergencia *NBIC —nano-bio-info-cogno-*, tendrán en las próximas décadas un impacto extraordinario y decisivo sobre una amplia gama de las cuestiones sociales, económicas, comerciales, tecnológicas, científicas y ambientales que transformarán seguramente la humanidad para siempre. Los cambios de paradigmas científicos serán frecuentes y la sociedad se deberá organizar de alguna forma para interpretar la nueva realidad. En ciencias sociales se utiliza justamente el término *cosmovisión*, una adaptación del alemán *Weltanschauung* (*Welt*, mundo, y *anschauen*, observar), para describir el conjunto de experiencias, creencias y valores que afectan la manera en que un individuo, época o cultura percibe la realidad y la forma en que responde a esa percepción. Adam Smith decía *el paradigma nos explica el mundo y nos ayuda a predecir su comportamiento*.

Los avances en ciencia y tecnología permiten inferir que en algunas décadas llegaremos a una época de súper inteligencia, de nuevos retos, una época que trascenderá los límites del progreso y transformará la humanidad para siempre para dar lugar quizás al *transhumanismo*, una época de cambio de aceleración en la que será posible crecer a una tasa inconcebible en el pasado, una época en la que las capacidades físicas e intelectuales de los humanos se podrán incrementar en forma vertiginosa, una época en la que se podrán corregir o postergar evidentemente algunos aspectos de la condición humana, como las enfermedades, el envejecimiento e incluso la muerte, una época de *singularidad*, de superinteligencia, de grandes hitos, en la que conviviremos con robots humanoides, ciberorganismos y hombres artificiales con una inteligencia superior a la que exhiben los humanos en la actualidad.

Ante semejantes expectativas, es importante observar también que algunos científicos se muestran escépticos respecto al mundo imprevisible y cualitativamente diferente del actual que podemos encontrar en el año 2050. Irving Good, el matemático británico, se cuestiona incluso si en este mundo de máquinas súper inteligentes habrá incluso espacio para los humanos, decía Good (1965): …*Thus the first ultraintelligent machine is the last invention that man need ever make*. El australiano Hugo de Garis (2009) sugiere que la inteligencia artificial puede simplemente eliminar la raza humana; Bostrom (2000) señala a la superinteligencia como una posible causa para aniquilar a la humanidad; Bill Joy, el fundador de *Sun Microsystems*, advierte acerca de los daños potenciales de la singularidad, y Vernor Vinge (1993) habla de la época de la singularidad como el fin de la era humana. Otros científicos, como Jeff Hawkins, Gordon Moore y Steven Pinker, mencionan en cambio que la singularidad nunca llegará.

Finalmente, independientemente de las diferentes conjeturas sobre la época en que alcanzaremos la singularidad tecnológica, si será en el año 2050 o en el año 2100, si la singularidad será tal y como se considera en la actualidad, o simplemente si nunca alcanzaremos la tan mencionada singularidad, todo indica que en las próximas décadas llegaremos a una época en que tendremos que convivir con ciberorganismos, robots humanoides y hombres artificiales, con una grado de autosuficiencia tal como para tomar sus propias decisiones. Mary Shelley en su obra gótica cumbre *Frankenstein: o el moderno Prometeo*, la historia de un hombre obsesionado por crear vida artificial, publicada en 1818, considera un punto clave sobre la ética actual de la inteligencia artificial. Shelley se cuestiona: *¿si las máquinas creadas tuvieran inteligencia, podrían también sentir?, ¿si pudieran sentir, tendrían los mismos derechos que un ser humano?* (McCorduck, 2004). Aunque la discusión se observe en esta época aún prematura, muchas de estas interrogantes seguramente habrá que irlas contestando en los próximos años:

a. ¿Una mente en una máquina —artefacto— constituye una persona?

b. ¿Estas nuevas personas, si existieran, podrán morir?

c. ¿Podrán los artefactos conscientes sentir placer o dolor?

d. ¿Tendrán los artefactos conscientes deseos?

e. ¿Podremos diseñar el cuerpo del artefacto consiente?

f. ¿Nos podremos enamorar de un artefacto consciente, que siente placer y dolor, que tiene deseos, y además un cuerpo diseñado a medida, que incluye nuestros gustos?

g. ¿Tendremos individuos formados por componentes biológicos y no biológicos: ciborg?

h. ¿Cuáles serán ios derechos de los artefactos conscientes y de los ciborg?

i. ¿Cuál será la esperanza de vida de un ciborg?

j. ¿Los ciborg alcanzarán la inmortalidad?

k. ¿Si la biostasis criónica es reversible, se podrán considerar como vivos los crionautas?

Ante una prospectiva un tanto de ficción como la que hemos descrito y un mundo imprevisible y cualitativamente diferente del actual al que llegaremos en las siguientes décadas, algunos individuos se muestran de alguna forma escépticos respecto al futuro de la raza humana, principalmente por los avances de la ciencia y tecnología. Sin embargo, hay que destacar que somos lo que nosotros nos hacemos, y seremos finalmente lo que nosotros nos hagamos a nosotros mismos. El principal riesgo para la raza humana no parece ser los ciberorganismos, los robots humanoides y los hombres artificiales, sino los propios humanos, los hombres con ambición desmedida y sueños de poder que podrían llevar a la raza humana a su propia destrucción.

REFERENCIAS

(Aamodt & Plaza, 1994). Aamodt, A. & Plaza, E. *Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches*. Artificial Intelligence Communications. Vol. 7, No. 1, pp. 39-59.

(Adleman, 98). Adleman, L. *Computing with DNA*. Scientific American. Vol. 279, No. 2, pp. 34-41.

(Aleksander, 1995). Aleksander, I. *Artificial Neuroconsciousness an Update*. Lecture Notes in Computer Science. Springer. Vol. 930, pp. 566-583.

(Alexander & Morton, 2007). Alexander, I. & Morton, H. *Depictive Architectures for Synthetic Phenomenology*. In A. Chella and R. Manzotti (Eds.). Exeter. Imprint Academic.

(Allen et al.; 2002). Allen, J.; Damasio, H. & Grabowski, T. *Normal neuroanatomical variation in the human brain: An MRI-volumetric study*. American Journal of Physical Anthropology. Vol. 118, No. 4, pp. 341-358.

(Amos, 2005). Amos, M. *Theoretical and Experimental DNA Computation*. Berlin Heidelberg: Springer.

(Anderson & Harvey, 1996). Anderson, B. & Harvey, T. *Alterations in cortical thickness and neural density in the frontal cortex of Albert Einstein*. Neuroscience Letters. Vol. 210, Issue 3, pp. l61-164.

(Appleton et al.; 2006). Appleton, D.; Blxby, R.; Chvátal, V. & Cook, W. *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

(Asimov, 1950). Asimov, I. *I, Robot*. New York, NY: Gnome Press.

(Baars & Franklin, 2009). Baars, B. & Franklin, S. *Consciousness is computational: The LIDA model of Global Workspace Theory*. International Journal of Machine Consciousness. Vol. 1, No. 1, pp. 23-32.

(Baars, 1997). Baars, B. *In the Theatre of Consciousness. Global Workspace Theory. A Rigorous Scientific Theory of Consciousness*. Journal of Consciousness Studies. Vol. 4, No. 4, pp. 292-309.

(Baars, 1993). Baars, B. *A Cognitive Theory of Consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.

(Balbich et al.; 1988). Baibich, M.; Broto, J.; Fert, A.; Van Dau, N.; Petroff, F.; Etienne, P.; Creuzet, G.; Friederich, A. & Chazelas, J. *Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices.* Physical Review Letter. Vol. 61, Issue 21, pp. 2472-2475.

(Bapeswara-Rao & Rao, 1992). Bapeswara-Rao, V. & Rao, M. *A three-door game show and some of its variants*. The Mathematical Scientist. Vol. 17, No. 2, pp 89-94.

(Barton, 2006). Barton, R. *Olfactory evolution and behavioral ecology in primates*. American Journal of Primatology. Vol. 68, Issue 6, pp. 545-558.

(Baum, 2004). Baum, E. *What is Thought?* Cambridge, MA: The MIT Press.

(Beals et al.; 1984). Beals, K.; Smith, C. & Dodd, S. *Brain Size, Cranial Morphology, Climate, and Time Machines*. Current Anthropology. Vol. 25, No. 3, pp. 301-330.

(Beaujean, 2005). Beaujean, A. *Heritability of cognitive abilities as measured by mental Chronometrie tasks: A meta-analysis*. Intelligence. Vol. 33, No. 2, PP187-201.

(Beck et al.; 2004). Beck, J.; Stern, M. & Haugsjaa, E. *Applications ofAl in Education*. Crossroads. Vol. 3, Issue 1, ppll-15.

(Bekenstein, 2003). Bekenstein, J. *Information in the Holographic Universe*. Scientific American. Vol. 289, No. 2, pp. 61.

(Benenson et al.; 2004). Benenson, Y.; Gil, B.; Ben-Dor, U.; Adar, R.; Shapiro, E. *An autonomous molecular computer for logical control of gene expression*. Nature. No. 429, pp. 423-429.

(Berry, 1966). Berry, J. *Temne and Eskimo perceptuals skills*. International Journal of Psychology. Vol. 1, Issue 3, pp. 207-229.

(Binasch et al.; 1989). Binasch, G.; Grünberg, P.; Saurenbach, F. & Zinn, W. *Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange*. Physical Review Letter. Vol. 39, Issue 7, pp. 4828-4830.

(Binet, 1911). Binet, A. *Nouvelles recherches sur la mesure du niveau. Intellectuel chez les enfants d'école*. Année Psychologique. Vol. 17, pp. 45-201.

(Binet & Simon, 1916). Binet, A. & Simon, T. *The development of intelligence in children*. Baltimore, Williams & Wilkins. (Reprinted 1973, New York: Arno Press; 1983, Salem, NH: Ayer Company). This volume includes reprints of many of Binet's articles on testing.

(Bird, 2007). Bird, A. *Perceptions of epigenetics*. Nature. Vol. 447, No. 7143, pp. 396-398.

(Blanshard, 1967). Blanshard, B. *The Problem of Consciousness: A Debate with B. F. Skinner*. Philosophy and Phenomenological Research. Vol. 27, No. 3, pp. 317-337.

(Boden, 2006). Boden, M. *Mind as a Machine: A History of Cognitive Science*. Two-Volume Set. New York, NY: Oxford University Press.

(Bohl et al.; 1995). Bohl, A.; Liberatore, M. & Nydick, R. *A Tale of Two Goats... and a Car, or the Importance of Assumptions in Problem Solutions*. Journal of Recreational Mathematics. Vol. 27, No. 1, ppl-9.

(Bostrom, 2000). Bostrom, N. *When Machines Outsmart Humans*. Futures. Vol. 35, No. 7, pp. 759-764.

(Bouchard, 2004). Bouchard, T. *Genetic Influence on Human Psychological Traits*. Current Directions in Psychological Science. Vol. 13, No. 4, ppl48-151.

(Bouchard & McGue, 2003). Bouchard, T. & McGue, M. *Genetic and environmental influences on human psychological differences*. Journal of Neurobiology. Vol. 54, No. 1, pp. 4-45.

(Bouchard etal.; 1990). Bouchard, T.; Lykken, D.; McGee, M.; Segal, N. &

Tellegen, A. *Sources of human psychological differences: the Minnesota Study of Twins Reared Apart*. Science. Vol. 250, No. 4978, pp. 223-8.

(Bouchard & McGue, 1981). Bouchard, T. & McGue, M. *Familial studies of intelligence: a review*. Science. Vol. 212, No. 4498, ppl055-1059.

(Boyer et al.; 2005). Boyer, J.; Harrison, S. & Ro, T. *Unconscious processing of orientation and color without primary visual cortex*. PNAS. Vol. 102, No. 46, ppl6875-16879.

(Brand, 1996). Brand, C. *Doing something about g*. Intelligence. Vol. 22, Issue 3, pp. 311-326.

(Broadbent, 1958). Broadbent, D. *Perception and Communication*. London: Pergamon Press.

(Broca, 1861). Broca, P. *Sur le volume et la forme du cerveau suivant les individus et suivant les races*. Bulletin Société d'Anthropologie Paris. Vol. 2, ppl39-207, 301-321, 441-446.

(Burdea & Coiffet, 2003). Burdea, G. & Coiffet, P. *Virtual Reality Technology*. (2nd Ed.). Malden, MA: Wiley-IEEE Press.

(Burdick et al.; 2006). Burdick, K.; Lencz, T.; Funke, B.; Finn, C.; Szeszko, P.; Kane, J.; Kucherlapati, R. & Malhotra, A. *Genetic variation in DTNBP1 influences general cognitive ability*. Human Molecular Genetics. Vol. 15, No.10, ppl563-1568.

(Cairo, 2009). Cairo, 0. *Más allá del paradigma digital: El paradigma de la nano y biotecnología*. ppll7-126. En M. Hilbert & 0. Cairo (Eds.). *¿Quo vadis, tecnología de la información y de las comunicaciones?* Bogotá; Mayol Ediciones.

(Campbell & Pillai, 2008). Campbell, J. & Pillai, P. *Collective Actuation*. International Journal of Robotics Research. Vol. 27, Issue 3-4, pp. 299-314.

(Cantor & Kihlstrom, 1987). Cantor, N. & Kihlstrom, J. *Personality and Social Intelligence*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

(Carbonell, 1970). Carbonell, J. *AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer assisted instruction*. IEEE Transaction on Man Machine System. Vol. 11. No. 4. pp. 190-202.

(Card et al.; 1983). Card, S.; Moran, T. & Newell, A. *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

(Cardamone et al.; 2005). Cardamone, D.; Stafford, C. & Mazumdar, S. *Controlling Quantum Transport through a Single Molecule*. Nano Letters. Vol. 6, No. 11, pp. 2422-2426.

(Carroll, 2003). Carroll, J. *The higher-stratum structure of cognitive abilities: Current evidence supports g and about ten broad factors*. In H. Nyborg (Ed.). The scientific study of general intelligence: Tribute to Arthur Jensen (pp.5-22). San Diego, CA; Pergamon.

(Carroll, 1993). Carroll, J. *Human Cognitive Abilities: A Survey of Factor-Analytic Studies*. New York, NY: Cambridge University Press.

(Caspi et al.; 2007). Caspl, A.; Williams, B.; Kim-Cohen, J.; Craig, I.; Milne, B.; Poulton, R.; Schalkwyk, L; Taylor, A.; Werts, H. & Moffitt, T. *Moderation of breastfeeding effects on the IQ by genetic variation in fatty acid metabolism*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, PNAS. Vol. 104, No. 47, ppl8860-18865.

(Cattell & Horn, 1978). Cattell, R. & Horn, J. *A Check on the Theory of Fluid and Crystallized Intelligence with Description of New Subtest Designs*. Journal of Educational Measurement. Vol. 15, No. 3, ppl39-164.

(Cattell, 1971). Cattell, R. *Abilities: Their structure, growth, and action*. New York, NY; Houghton Mifflin.

(Cavanaugh & Blanchard-Fields, 2006). Cavanaugh, J. & Blanchard-Flelds, F. *Adult development and aging*. (5th Ed.). Belmont, CA: Wadsworth Publlshlng/Thomson Learning.

(Cesi & Williams, 2009). Cesi, S. & Williams, W. *Darwin 200: Should scientists study race and IQ? YES: the scientific truth must be pursued*. Nature. Vol. 457, No. 7231, pp. 788-789.

(Ceci, 1990). Ceci, S. *On Intelligence... More or Less: A Biological Treatise on Intellectual Development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

(Chalmers, 1997). Chalmers, D. Consciousness *and the Philosophers: An Exchange*. The New York Review of Book. Vol. 44, No. 8. http://www.nybooks.com/articles/archives/1997/may/15/consclousness-and-thephilosophers-an-exchange/

(Chalmers, 1996). Chalmers, D. *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*. New York, NY: Oxford University Press.

(Chalmers, 1995). Chalmers, D. *Facing Up to the Problem of Consciousness*. Journal of Conciousness Studies. Vol. 2, No. 3, pp. 200-219.

(Chandler, 2007). Chandler, V. *Paramutations: From Maize to Mice*. Cell. Vol. 128, Issue 4, pp. 641-645.

(Charniak & McDermott, 1985). Charnlak, E. & McDermott, D. *Introduction to Artificial Intelligence*. Reading, MA: Addison-Wesley.

(Chella et al.; 2008). Chella, A.; Gaglio, Frixione, M. & Gagllo, S. *A cognitive architecture for robot self-consciousness*. Artificial Intelligence in Medicine. Vol. 44, Issue 2, ppl47-154.

(Chella & Manzotti, 2007). Chella, A. & Manzotti, R. *Artificial Intelligence and Consciousness*. AAAI Symposium. Technical Report FS-07-01. The AAAI Press.

(Cherniss, 2000). Cherniss, C. *Emotional Intelligence: What it is and Why it Matters*. Proceedings of the Annual Meeting of the Society for Industrial and Organizational Psychology. New Orleans, USA.

(Chrisley et al.; 2008). Chrisley, R.; Alexander, I.; Bringsjord, S.; Clowes, R.; Parthemore, 1; Stuart, S.; Torrance, S. & Zlemke, T. *Assessing Artificial Consciousness: A Collective Review Article*. Journal of Consciousness Studies. Vol. 15, No. 7, pp. 95-110.

(Chrisley & Parthemore, 2007). Chrisley, R. & Parthemore, J. *Synthetic Phenomenology: Exploiting Embodiment to Specify the Non-Conceptual Content of Visual Experience*. Journal of Consciousness Studies. Vol. 14, No. 7, pp. 44-58.

(Churchland & Churchland, 1990). Churchland, P. & Churchland, P. *Could a Machine Think?* Scientific American. Vol. 262, No. 1, pp. 32-37.

(Ciandolo & Sternberg, 2004). Ciándolo, A. & Sternberg, R. *Intelligence: A Brief History*. Malden, MA: Blackwell Publishing.

(Clark & Chalmers, 1999). Clark, A. & Chalmers, D. *The Extended Mind*. Analysis. Vol. 58, No. 1, pp. 7-19.

(Clarke, 1945). Clarke, A. *Extra-Terrestrial Relays. Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage*. Wireless World. October 1945, pp. 305-308.

(Clutton-Brock & Harvey, 1980). Clutton-Brock, T. & Harvey, P. *Primates, brains and ecology*. Journal of Zoology. Vol. 190, Issue 3, pp. 309-323.

(Collier et al.; 1999). Collier, P.; Wong, E.; Belohradsky, M.; Raymo, F.; Stoddart, J.; Kuekes, P.; Williams, R. & Heath, J. *Electronically Configurable Molecular-Based*

Logic Gates. Science. Vol. 285, No. 5426, pp. 391-394.

(Colvin et al.; 2005). Colvin, M.; Funnell, M. & Gazzaniga, M. *Numerical Processing in Two Hemispheres: Studies of a Splits-Brain Patient*. Brain and Cognition. Vol. 57, No. 1, pp. 43-52.

(Coon, 1955). Coon, C. *Some problems of human variability and natural selection in climate and culture*. The American Naturalist. Vol. 89, No. 848, pp. 257-279.

(Cózar, 2003). Cózar, J. *Nanotecnologías: promesas dudosas y control social*. CTS+I: Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación. Número 6. Mayo/Agosto 2003.

(Crevier, 1993). Crevier, D. *The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence*. New York, NY: Basic Books.

(Crick & Koch, 1998). Crick, F. & Koch, C. *Consciousness and Neuroscience*. Cerebral Cortex. Vol. 8, pp. 97-107.

(D'Adamo et al.; 1998). D'Adamo, P.; Menegon, A.; Lo Nigro, C.; Grasso, M.; Gulisano, M.; Tamanini F.; Bienvenu, T.; Gedeon, A.; Oostra, B.; Wu, S.; Tandon, A.; Valtorta, F.; Balch, W.; Chelly, J. & Toniolo, D. *Mutations in GDI1 are responsible for X-linked non-specific mental retardation*. Nature Genetics. Vol. 19, No. 2, pp. l34-139.

(Damasio, 2000). Damasio, A. *The Feeling of What* Happens. *Body and Emotion in the Making of Consciousness*. Fort Washington, PA: Harvest Book Company.

(Damasio, 1995). Damasio, A. *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. New York, NY: Harpel Perennial.

(Darwin, 1871). Darwin, C. *The Descent of Man*. Volume 1. London: John Murray.

(Das et al.; 2004). Das, S.; Chandrakasan, A. & Reif, R. *Timing, Energy, and Termal Performance of Three-Dimensional Integrated Circuits*. Great Lakes Symposium on VLSI. Proceedings of the 14th ACM Great Lakes symposium on VLSI. Boston, MA, USA. pp. 338-343.

(de Garis, 2009). de Garis, H. *The Coming Artilect War*. Forbes. 06.22.09. http://www.forbes.com/2009/06/18/cosmist-terran-cyborgist-opinions-contributorsartlficial-intelligence-09-hugo-de-garis.html

(De Grey, 2009). De Grey, A. *The singularity and the Methuselarity: similarities and differences*. Studies in Health Technology and Informatics. Vol. 149, ppl95-202.

(De Rosa et al.; 2009). De Rosa, M.; Goldstein, S.; Lee, P.; Pillai, P. & Campbell, J. *A Tale of Two Planners: Modular Robotic Planning with LDP*. 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2009, pp. 5267-5274.

(Dean & Kambhampati, 1997). Dean, T. & Kambhampati, S. *Planning and Scheduling*. The CRC Handbook of Computer Science and Engineering. A. B. Tucker (Ed). pp. 614-636. Boca Raton, FL: CRC Press.

(Deary, 2001). Deary, I. *Intelligence. A Very Short Introduction*. New York, NY: Oxford University Press.

(Deary et al.; 2000). Deary, I.; Whalley, L.; Lemmon, H.; Crawford, J. & Starr, J. *The Stability of Individual Differences in Mental Ability from Childhood to Old Age: Follow-up of the* 1932 *Scottish Mental Survey*. Intelligence. Vol. 28, Issue 1, pp. 49-55.

(Dehaene et al.; 2004). Dehaene, S.; Molko, N.; Cohen, L. & Wilson, A. *Arithmetic and the brain*. Current Opinion in Neurobiology. Vol. 14, Issue 2, pp. 218-224.

(Dennett, 1991). Dennett, D. *Consciousness Explained*. Newport Beach, CA: Back Bay Books.

(Dick et al.; 2007). Dick, D.; Aliev, F.; Kramer, J.; Wang, J.; Heinrichs, A.;

Bertelsen, S.; Kuperman, S.; Schuckit, M.; Nürnberger, J.; Edenberg, H.;

Porjesz, B.; Begleiter, H.; Hesselbrock, V.; Goate, A. & Bierut, L. *Association of CHRM2 with IQ: Converging Evidence for a Gene Influencing Intelligence. Behavioral Genetics*. Vol. 37, No. 2, pp. 265-272.

(Dickens & Flynn, 2006). Dickens, W. & Flynn, J. *Black Americans Reduce the Racial IQ Gap: Evidence from Standardization Samples*. Psychological Science. Vol. 17, Issue 10, pp. 913-920.

(Diekmanns, 2007). Dickmanns, E. *Dynamic Vision for Perception and Control of Motion*. Springer.

(Doan, 2009). Doan, T. *Pentti Haikonen's architecture for conscious machines*. Conscious Robots, http://www.conscious-robots.com/en/conscious-

machines/theories-of-consciousness/pentti-haikonens-architecture-for-conscious-mac. html

(Dobzhansky, 1973). Dobzhansky, T. *Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution*. The American Biology Teacher. Vol. 35, pp. l25-129.

(DRAE, 1992). *Diccionario de la Lengua Española*. Versión Electrónica 21.2.0. Espasa Calpé S.A.

(Drestke, 2000). Drestke, F. *Perception, Knowledge and Belief: Selected Essays*. Cambridge: Cambridge University Press.

(Drexler, 1986). Drexler, K. *Engines of Creation: the Coming Era of Nanotechnology*. New York, NY: Anchor Books.

(Dreyfus, 1992). Dreyfus, H. *What Computers Still Can't Do: A Critique of Artificial Reason*. Cambridge, MA: MIT Press.

(Duda et al.; 1979). Duda, R.; Gaschnig, J. & Hart, P. *Model design in the PROSPECTOR consultant program for mineral exploration*. In Expert Systems In the Microelectronic Age (D. Michie, Ed.). Edinburgh: Edinburgh University Press.

(Duncan et al.; 2000). Duncan, J.; Seitz, R.; Kolodny, J.; Bor, D.; Herzog, H.; Ahmed, A.; Newell, F. & Emslie, H. *A Neural Basis for General Intelligence*. Science. Vol. 289, No. 5478, pp. 457-460.

(Erman etal.; 1980). Erman, L; Hayes-Roth, F.; Lesser, V. & Reddy, D. *The Hearsay-ll Speech Understanding System: Integrating Knowledge to Resolve Uncertainty*. ACM Computing Survey. Vol. 12, Issue 2, pp. 213-253.

(ETC, 2003). *La inmensidad de lo mínimo. De los genomas a los átomos*. Grupo ETC. http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=476

(Eysenck, 2000). Eysenck, H. *Intelligence: A New Look*. Piscataway, NY: Transaction Publishers.

(Eysenck, 1994). Eysenck, H. *Intelligence*. In Eysenck (Ed.). *The Blackwell Dictionary of Cognitive Psychology*. Cambridge, MA: Blackwell Publishers.

(Feigenbaum & Feldman, 1963). Feigenbaum, E. & Feldman, J. *Computers and Thought*. New York, NY: McGraw-Hill.

(Feigenson et al.; 2004). Feigenson, L; Dehaene, S. & Spelke, E. *Core systems of number*. Trends in Cognitive Sciences. Vol. 8, No. 7, pp. 307-314.

(Flashman et al.; 1998). Flashman, L; Andreasen, N.; Flaum, M & Swayze II, V. *Intelligence and regional brain volumes in normal controls*. Intelligence. Vol. 25, No. 3, pp. l49-160.

(Flynn, 2007. Flynn, J. *What is Intelligence?: Beyond the Flynn Effect*. Cambridge: Cambridge University Press.

(Flynn, 1994). Flynn, J. *IQ gains overtime*. In R. Sternberg (Ed.). *Encyclopedia of human intelligence* (pp617-623). New York, NY: Macmillan.

(Flynn, 1987). Flynn, J. *Massive IQ gains in 14 nations: What IQ tests really measure*. Psychological Bulletin. Vol. 101, pp. l71-191.

(Foley et al.; 1991). Foley, R.; Lee, P.; Widdowson, E.; Knight, C. & Jonxis, J. *Ecology and Energetics of Encephalization in Hominid Evolution*. Philosophical Transactions: Biological Sciences. Vol. 334, No. 1270, pp. 223-232.

(Fox, 2002). Fox, D. *The Inner Savant*. Mind & Brain. DISCOVER Magazine. February 2002 issue, published online February 1, 2002

(Franklin, 2003). Franklin, S. *IDA: A Conscious Artifact?* Journal of Consciousness Studies. Vol. 10, No. 4-5, pp. 47-66.

(Freeman, 1999). Freeman, W. *Consciousness, intentionally and causality*. Journal of Consciousness Studies. Vol. 6, pp. l43-172.

(Friedman, 2009). Friedman, G. *The Next 100 Years: A Forecast for the 21st Century*. New York, NY: Doubleday.

(Galton, 1889). Galton, F. *On head growth in students at the University of Cambridge*. Journal of the Anthropological Institute. Vol. 18, ppl55-156.

(Gamez, 2005). Gamez, D. *An ordinal probability scale for synthetic phenomenology*. Proceedings of the 2005 AISB Workshop on Next Generation Approaches to Machine Consciousness, pp. 85-94.

(Gardner, 2005). Gardner, H. *Inteligencias Múltiples: La Teoría en la Práctica*. Barcelona: Paidós Ibérica.

(Gardner, 2004). Gardner, H. *Changing Minds: The Art and Science of Changing Our Own and Other People's Mind*. Boston, MA: Harvard Business School Press.

(Gardner, 1985). Gardner, H. *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*. New York, NY: Basic Revolution.

(Gardner, 1983). Gardner, H. *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. New York, NY: Basic Books.

(Geary, 2005). Geary, D. *The Origin of Mind: Evolution of Brain, Cognition, and General Intelligence*. Washington, DC: American Psychological Association.

(Gibson, 2002). Gibson, K. *Evolution of Human Intelligence: The Roles of Brain Size and Mental Construction*. Brain Behavior Evolution. Vol. 59, No. 1-2, ppl0-20.

(Giedd et al.; 1999). Giedd, J.; Blumenthal, 1; Jeffries, N.; Castellanos, F.; Liu, H.; Zijdenbos, A.; Paus, T.; Evans, A. & Rapoport, J. *Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MR! study*. Nature Neuroscience. Vol. 2, No. 10, pp. 861-863.

(Glenberg & Robertson, 2000). Glenberg, A. & Robertson, D. *Symbol Grounding and Meaning: A Comparison of High-Dimensional and Embodied Theories of Meaning*. Journal of Memory and Language. Vol. 43, Issue 3, pp. 379-401.

(God, 1965). God, I. *Speculations Concerning the First Ultraintelligent Machine*. In F. Alt & M. Rubinoff (Eds.). Advances in Computers. Vol. 6, pp. 31-88.

(Goldstein etal.; 2009). Goldstein, S.; Mowry, T.; Campbell, J.; Ashley-Rollman, M.; De Rosa, M.; Funiak, S.; Hoburg, J.; Karagozler, M.; Kirby, B.; Lee, P.; Pillai, P.; Reid, J.; Stancil, D. & Weller, M. *Beyond Audio and Video: Using Claytronics to Enable Parió*. AI Magazine. Vol. 30, No. 2, pp. 29-45.

(Goldstein et al.; 2005). Goldstein, S.; Campbell, J. & Mowry, T. *Programmable Matter*. IEEE Computer. Vol. 38, No. 6, pp. 99-101.

(Goleman, 2000). Goleman, D. *Leadership that get results*. Harvard Business Review. Vol. 78, No. 2, pp. 78-90.

(Goleman, 1998). Goleman, D. *What makes a leader?* Harvard Business Review. Vol. 76, No. 6, pp. 92-102.

(Goleman, 1995). Goleman, D. *Emotional Intelligence: Why It Can Matter More Than IQ*. New York, NY: Bantam.

(Gottesman, 1997). Gottesman, I. *Twins: En route to QTLs for cognition*. Science. Vol. 276, No. 5318, ppl522-1523.

(Gottfredson, 2003). Gottfredson, L. *Dissecting practical intelligence theory: Its claims and evidence*. Intelligence. Vol. 31, Issue 4, pp. 343-397.

(Gottfredson, 1998). Gottfredson, L. *The General Intelligence Factor*. Scientific American Presents. Vol. 9, No. 4, pp. 24-29.

(Gottfredson, 1994). Gottfredson, L. *Mainstream Science on Intelligence*. The Wall Street Journal. December 13,1994. ppA18.

(Gould, 1978). Gould, S. *Morton's ranking of races by cranial capacity: Unconscious manipulation of data maybe a scientific norm*. Science. Vol. 200, Issue 4341, pp. 503-509.

(Guardati & Morales-Luna, 2009). Guardati, S. & Morales-Luna, G. *Computación Cuántica*. pp232-245. En M. Hilbert & 0. Cairo (Eds.). *¿Quo vadis, tecnología de la información y de las comunicaciones?* Bogotá: Mayol Ediciones.

(Guarnieri et al.; 1996). Guarnierl, F.; Fliss, M. & Bancroft, C. *Making DNA add*. Science. Vol. 273, No. 5272, pp. 220-223.

(Gur et al.; 1999). Gur, R,; Turetsky, B.; Matsui, M.; Yan, M.; Bilker, W.; Hughett, P. & Gur, R. Sex *Differences In Brain Gray and White Matter in Healthy Young Adults: Correlations with Cognitive Performance*. The Journal of Neuroscience. Vol. 19, No. 10, pp. 4065-4072.

(Haier et al.; 2004). Haier, R.; Jung, R.; Yeo, R.; Head, K, & Alkire, M. *Structural brain variations and general intelligence*. Neuroimage. Vol. 23, No. 1, pp 425-433.

(Halkonen, 2007). Haikonen, P. *Robot Brains: Circuits and Systems for Conscious Machines*. Malden, MA: Wiley.

(Haikonen, 2003). Haikonen, P. *The Cognitive Approach to Conscious Machines*. Exeter: Imprint Academic.

(Halberstam, 1993). Halberstam, D. *The Best and the Brightest*. 20 Anv. edition. New York, NY: Ballantine Books.

(Hameroff, 2007). Hameroff, S. *The Brain is Both Neurocomputer and Quantum Computer*. Cognitive Science. Vol. 31, No. 6, pp l035-1045.

(Hameroff & Marcer, 1998). Hameroff, S. & Marcer, P. *Quantum Computation in Brain Microtubules? The Penrose-Hameroff 'Orch OR' Model of Consciousness*.

Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. Vol. 356, No. 1743, ppl869-1896.

(Hameroff & Penrose, 1996). Hameroff, S. & Penrose, R. *Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: a model for consciousness*. Mathematics and Computers in Simulation. Vol. 40, Issue 3-4, pp. 453-480.

(Han & Kamber, 2000). Han, J. & Kamber, M. *Data Mining: Concepts and Techniques*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.

(Hamad, 1990). Harnad, S. *The Symbol Grounding Problem*. Physica. Vol. 42, pp. 335-346.

(Hart et al.; 2003). Hart, C.; Deary, I.; MacKinnon, P.; Smith, D.; Whalley, L; Wilson, V.; Hole, D. & Starr, J. *The Scottish Mental Survey 1932 linked to the Midspan studies: a prospective investigation of childhood intelligence and future health*. Public Health. Vol. 117, No. 3, pp. l87-195.

(Haskins, 2007). Haskins, W. *IBM, Intel Reach* Chip Milestone *in Dead Heat*. TechNewsWorld. http://www.technewsworld.com/story/future-tech/55441. html? wlc= 1271787958

(Haug, 1987). Haug, H. *Brain sizes, surfaces, and neuronal sizes of the cortex cerebri: a stereological investigation of man and his variability and a comparison with some mammals*. The American Journal of Anatomy. Vol. 180, No. 2, pp. l26-142.

(Haugeland, 1989). Haugeland, J. *Artificial Intelligence: The* Very *Idea*. Cambridge, MA: MIT Press.

(Hawkins & Blakeslee, 2004). Hawkins, J. & Blakeslee, S. *On Intelligence*. New York, NY: Times Books.

(Healy & Rowe, 2007). Healy, S. & Rowe, C. *A critique of comparative studies of brain size*. Proceedings: Biological Sciences. The Royal Society. Vol. 274, No. 1609, pp. 453-464.

(Hebb, 1949). Hebb, D. *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. New York, NY: John Wiley & Sons.

(Henshilwood et al.; 2002). Henshilwood, C.; d'Errlco, F.; Yates, R.; Jacobs, Z.; Trlbolo, C.; Duller, G.; Mercler, N.; Sealy, J.; Valladas, H. & Wintle, A.

Emergence of Modern Human Behavior: Middle Stone Age Engravings from South Africa. Science. Vol. 295, No. 5558, pp. l278-1280.

(Herbert et al.; 2005). Herbert, M.; Ziegler, D.; Deutsch, C.; O'Brien, L; Kennedy, D.; Filipek, P.; Bakardjiev, A.; Hodgson, J.; Takeoka, M.; Makris, N.

& Cavlness, V. *Brain asymmetries in autism and developmental language disorder: a nested whole-brain analysis*. Brain. Vol. 128, No. 1, pp 213-226.

(Herrnstein & Murray, 1994). Hermstein, R. & Murray, C. *The Bell Curve: Intelligence and Class Structure in American Life*. New York, NY: Free Press.

(Hilbert, 2009). Hilbert, M. La reciente onda *larga de desarrollo humano*. pp. 3-ll. En M. Hilbert & O. Cairo (Eds.). *¿Quo vadis, tecnología de la información y de las comunicaciones?* Bogotá: Mayol Ediciones.

(Hillis, 1989). Hillis, W. *The Connection Machine*. Cambridge, MA: The MIT Press.

(Hochberg et al.; 2006). Hochberg, L.; Serruya, M.; Friehs, G.; Mukand, J.; Saleh, M.; Caplan, A.; Branner, A.; Chen, D.; Penn, R. & Donoghue, J. *Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia*. Nature. Vol. 442, Issue 7099, pp. l64-171.

(Hoeflin, 1989). Hoeflin, R. *The Sixth Norming of the Mega Test*. Darryl Miyaguchi.http://www.eskimo.com/~miyaguch/meganorm.html

(Hoerr, 2000). Hoerr, T. *Becoming a Multiple Intelligences School*. Alexandria,

VA: Association for Supervision & Curriculum Deve.

(Hofstadter, 1999). Hofstadter, D. Go *del, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*. New York, NY: Basic Books.

(Hofstadter & Dennet, 1981). Hofstadter, D. & Dennett, D. *The Mind's I*:

Fantasies and Reflections on Self and Soul. New York, NY: Basic Books.

(Holland, 2007). Holland, 0. A *Strongly Embodied Approach to Machine Consciousness*. Journal of Consciousness Studies. Vol. 14, No. 7, pp. 97-110.

(Holland, 2003). Holland, 0. *Machine Consciousness*. New York, NY: Imprint Academic.

(Hong et al.; 2004). Hong, R.; Martínez, C.; Sautié, M.; Valdés, K. & Hernández,

J. Computación *Biomolecular: algunos apuntes*. Revista Cubana de Informática Médica. Año 1, No. 4.

(Horn & Masunaga, 2000). Horn, J. & Masunaga, H. *New directions for research into aging intelligence: The development of expertise*. In T. Perfect & E. Maylor (Eds.). Models of Cognitive Aging (pp. l25-159). Oxford, England: Oxford University Press.

(Horn, 1983). Horn, J. *The Texas Adoption Project: Adopted Children and Their Intellectual Resemblance to Biological and Adoptive Parents*. Child Development. Vol. 54, No. 2, pp. 268-275.

(Humphrey, 2002). Humphrey, N. *Commentary on Michael Winkelman, Shamanism and cognitive evolution*. Cambridge Archaeological Journal. Vol. 12, pp. 91-93.

(Hunt & Carlson, 2007). Hunt, E. & Carlson, J. *Considerations Relating to the Study of Group Differences in Intelligence*. Perspectives on Psychological Science. Vol. 2, No. 2, pp. l94-213.

(Incera et al.; 2009). Incera, J.; Cairó, 0. & Esquivel, R. *Captación e interoperación de información*. (pp. l37-178). En M. Hilbert & O. Cairo (Eds.). *¿Quo vadis, tecnología de la información y de las comunicaciones*? Bogotá: Mayol Ediciones.

(Igarashi et al.; 2007). Igarashi, R.; Suzuki, T.; Shirakura, Y. & Takeno, J.

¿Quo vadís, tecnología de la Información y de las c

Realization of an emotional conscious robot and imitation behavior.

Proceedings of the 13th IASTED International Conference on Robotics and Applications. Würzburg, Germany, pp. l35-140.

(Ivanovic et al.; 2004a). Ivanovic, D.; Leiva, B.; Castro, C.; Olivares, M.; Jansana, J.; Castro, V.; Almagia, A.; Toro, T.; Urrutia, M.; Miller, P.; Bosch, E.; Larrain, C. & Pérez, H. *Brain Development Parameters and Intelligence in Chilean High School Graduates*. Intelligence. Vol. 32, No. 5, pp 461-479.

(Ivanovic et al.; 2004b). Ivanovic, D.; Leiva, B.; Pérez, H.; Olivares, M.; Díaz, N.; Urrutia, M.; Almagia, A.; Toro, T.; Miller, P.; Bosch, E. & Larrain, C. *Head size and intelligence, learning, nutritional status and brain development*. Head,

IQ, learning, nutrition and brain. Neuropsychologia. Vol. 42, No. 8, pplll8-1131.

(Iwaniuk & Nelson, 2001). Iwaniuk, A. & Nelson, J. *A comparative analysis of relative brain size in waterfowl (Anserlformes).* Brain, Behavior and Evolution. Vol. 57, No. 2, pp. 87-97.

(Jensen, 1998). Jensen, A. *The g factor: The science of mental ability*. Westport, CT: Praeger Publishers.

(Jensen, 1994). Jensen, A. *Psychometric g related to differences in head size*. Personality and Individual Differences. Vol. 17, Issue 5, pp. 597-606.

(Jerison, 2000). Jerison, H. *The evolution of intelligence*. In R. Sternberg (Ed.). Handbook of Intelligence. Cambridge: Cambridge University Press.

(Jerison, 1985). Jerison, H. *Animal Intelligence as Encephalization*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences.

Volume 308, Issue 1135, pp. 21-34.

(Jerison, 1983). Jerison, H. *The evolution of the mammalian brain as an information processing system*. Advances in the study of mammalian behavior. Eisenberg, J. & Kleiman, D. (Eds.). American Society of Mammalogists Special publication 7, pp. 632-661.

(Jerison, 1973). Jerison, H. *Evolution of the Brain and Intelligence*. New York,

NY: Academic Press.

(Jiang et al.; 2008). Jiang, Q.; Lee, C.; Mandrekar, S.; Wilkinson, B.; Cramer, P.; Zelcer, N.; Mann, K.; Lamb, B.; Willson, T.; Collins, J.; Richardson, J.; Smith,

J.; Comery, T.; Riddell, D.; Holtzman, D.; Tontonoz, P. & Landreth, G. *ApoE promotes the proteolytic degradation of Abeta*. Neuron. Vol. 58, No. 5, pp. 681-693.

(Johnson, 2005). Johnson, R. *A genius explains*. The Guardian, Saturday 12 February 2005.

(Jurafsky & Martín, 2000). Jurafsky, D. & Martin, J. *Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.

(Kandel et al.; 2000). Kandel, E.; Schwartz, J. & Jessell, T. *Principles of Neural Science* (4th Ed.). New York, NY: McGraw-Hill Medical.

(Kant, 2000). Kant, I. *Crítica de la Razón Pura*. Trad. De Mario Caimi. Buenos Aires: Colihue.

(Kanzaki et al.; 2005). Kanzaki, R.; Nagasawa, S. & Shimoyama, I. *Neural Basis of Odor-Source Searching Behavior in Insect Brain Systems Evaluated with a Mobile Robot*. Chemical Senses. Vol. 30, Suppl. 1, pp. 285-286.

(Kaplan & Saccuzzo, 2005). Kaplan, R. & Saccuzzo, D. *Psychological Testing: Principles, Applications, and Issues*. Florecen, KY: Thomson Wadsworth.

(Karagozleretal.; 2006). Karagozler, M.; Kirby, B.; Goldstein, S.; Lee, W.; Marinelli, E.; Ng, Tze.; Philetus, M. & Goldstein, S. *Ultralight Modular Robotic Building Blocks for the Rapid Development of Planetary Outposts*. Revolutionary Aerospace Systems Concepts Academic Linkage (RASC-AL). Forum 2006.

(Kassan, 2006). Kassan, P. *Al Gone Awry: The future quest for artificial intelligence*. Skeptic Magazine. Vol. 12, No. 2.

(Kennedy et al.; 1998). Kennedy, D.; Lange, N.; Makris, N.; Bates, J.; Meyer, J. & Caviness, V. *Gyri of the human neocortex: an MRI-based analysis of volume and variance*. Cerebral Cortex. Vol. 8, No. 4, pp. 372-384.

(Kirp, 2006). Kirp, D. *After the Bell Curve*. New York Times Magazine.http://www.nytimes.com/2006/07/23/magazine/23wwln_idealab.html

(Koch & Mormann, 2010). Koch, C. & Mormann, F. *The Neurobiology of Consciousness*. In G. Mashour (Ed.). *Consciousness, Awareness, and Anaesthesia*. New York, NY: Cambridge University Press.

(Kornhaber, 2001). Kornhaber, M. *Howard Gardner*, in J. Palmer (Ed.). *Fifty Modern Thinkers on Education: From Piaget to the Present*. London: Routledge.

(Kozma et al.; 2007). Kozma, R.; Aghazarian, H.; Huntsherger, T.; Tunstel, E. & Freeman, W. *Computational Aspects of Cognition and Consciousness in Intelligent Devices*. Computational Intelligence Magazine, IEEE. Vol. 2, No. 3, pp. 53-64.

(Kuhn, 1996). Kuhn T. *The Structure of Scientific Revolutions*. (3rd Ed.). Chicago, IL: University of Chicago Press.

(Kuri & Cairo, 2009). Kuri, A. & Cairo, O. *Biotecnología* y *Bioinformática*. ppl27-136. En M. Hilbert & 0. Cairo (Eds.). *¿Quo vadis, tecnología de ia Información y de las comunicaciones?* Bogotá: Mayol Ediciones.

(Kurzweil, 2006). Kurzweil, R. *The Singularity is Near: When Human Transcend Biology*. New York, NY: Penguin.

(Kurzweil, 2001). Kurzweil, R. *The Law of Accelerating Returns*. KurzweilAI.net, March 7, 2001.http://www.kurzweilai.net/articles/art0134.html?printable=l

(Kurzweil, 2000). Kurzweil, R. *The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence*. New York, NY: Penguin.

(Kurzweil, 1992). Kurzweil, R. *The Age of Intelligent Machines*. Cambridge, MA: MIT Press.

(Kushmerick, 2009). Kushmerick, J. *Nanotechnology: Molecular transistors scrutinized*. Nature. No. 462, pp. 994-995.

(Laird et al.; 1987). Laird, J.; Newell, A. & Rosenbloom, P. *Soar: architecture for general intelligence*. Artificial Intelligence. Vol. 33, Issue 1, pp. l-64.

(Lamme, 2006). Lamme, V. *Zap! Magnetic Tricks on conscious and unconscious vision*. Trends in Cognitive Sciences. Vol. 10, Issue 5, ppl93-195.

(Leake, 1996). Leake, D. *Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons, & Future Directions*. Menlo Park, CA: AAAI Press/MIT Press.

(Lederberg, 1987). Lederberg, J. *How DENDRAL* was *conceived and born*. ACM Symposium on History of Medical informatics. Rockefeller University. New York: National Library of Medicine.

(Lee et al.; 2005). Lee, J.; Lyoo, I.; Kim, S.; Jang, H.; Lee, D.; Jeon, H.; Park, S. & Cho, M. *Intellect declines in healthy elderly subjects and cerebellum.*

Psychiatry and Clinical Neurosciences. Vol. 59, No. 1, pp 45-51.

(Locke, 2009). Locke, J. An Essay *Concerning Human Understanding: Complete and Unabridged in One Volume*. WLC Publisher.

(Locke, 2005). Locke, E. *Why emotional intelligence is an invalid concept*. Journal of Organizational Behavior. Vol. 26, Issue 4, pp. 425-431.

(Loehlin et al.; 2005). Loehlin, J.; Horn, J. & Ernst, J. *Genetic and Environmental Influences on Adult Life Outcomes: Evidence from the Texas Adoption Project*. Behavioral Genetics. Vol. 37, No. 3, pp. 463-476.

(Loehlin et al.; 1997). Loehlin, J.; Horn, J. & Willerman, L. *Heridity Environment, and IQ in the Texas Adoption Project*, in Sternberg &

Grigorenko (Eds.). *Intelligence, Heredity and Environment*. Cambridge: Cambridge University Press.

(Logothetis & Leopold, 1995). Logothetis, N. & Leopold, D. *On the Physiology of Bistable Percepts*. Technical Report: AIM-1553. Massachusetts Institute of Technology.

(Lofgren, 2003). Lovgren, S. *Computer Made from DNA and Enzymes*. National Geographic News, http://news.nationalgeographic.com/news/2003/02/0224_030224_DNAcomputer.html

(Luger, 2009). Luger, G. *Artificial Intelligence, Structures and Strategies for Complex Problem Solving* (6th Ed.). Boston, MA: Addison Wesley Pearson Education.

(Lynn & Vanhanen, 2002). Lynn, R. & Vanhanen, T. *IQ and the Wealth of Nations*. Westport, CT: Praeger Publishers.

(MacArthur, 1968). MacArthur, R. *Some Differential Abilities of Northern Canadian Native Youth*. International Journal of Psychology. Vol.3, Issue 1, pp. 43-51.

(Mace et at.; 1980). Mace, G.; Harvey, P. & Clutton-Brock, T. *Is brain size an ecological variable?* Trends in Neurosciences. Vol. 3, Issue 8, pp. l93-196.

(MacLulllch et al.; 2002). MacLullich, A.; Ferguson, K.; Deary, I.; Seckl, J.; Starr,

J. & Wardlaw, J. *Intracranial Capacity and Brain Volumes are Associated with Cognition in Healthy Elderly Men*. Neurology. Vol. 59, No. 2, pp. l69-174.

(Madden, 2001). Madden, J. Sex, *Bowers and Brains*. Proceedings: Biological Sciences. The Royal Society. Vol. 268, No. 1469, pp. 833-838.

(Mansouri & Sexl, 1977). Mansouri, R. & Sexl, R. A *test theory of special relativity: I. Simultaneity and clock synchronization*. General Relativity and Gravitation. Vol. 8, No. 7, pp. 497-513.

(Marino et al.; 2006). Marino, L.; Sol, D,; Toren, K. & Lefebvre, L. Does *diving limit brain size in* cetaceans? Marine Mammal Science. Vol. 22, No. 2, pp 413-425.

(Martin, 1981). Martin, R. *Relative brain size and basal metabolic rate in terrestrial* vertebrates. Nature. Vol. 293, Issue 5827, pp 57-60.

(May, 1983). May, L. *On Conscience*. American Philosophical Quarterly. Vol. 20, No. 1, pp 57-67.

(McCarthy, 1960). McCarthy, J. *Recursive Functions of Symbolic Expressions and their Computation by Machine*. Part 1. CACM. Vol. 3, No. 4, ppl84-195.

(McClean, 1999). McClean, P. *Estimating the Offspring Phenotype*. Quantitative Genetics, http://www.ndsu.nodak.edu/instruct/mcclean/plsc431/quantgen/qgen6. htm

(McClearn et al.; 1997). McClearn, G.; Johansson, B.; Berg, S.; Pedersen, N.;

Ahern, F.; Pretill, S. & Plomin, R. *Substantial Genetic Influence on Cognitive*

Abilities in Twins 80 or More Years Old. Science. Vol. 276, No. 5318, ppl560-1563.

(McCorduck, 2004). McCorduck, P. *Machines Who Think* (2nd Ed.). Natick, MA: AK Peters.

(McCulloch & Pitts, 1943). McCulloch, W. & Pitts, W. *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*. Bulletin of Mathematical Biophysics. Vol.

5, ppll5-133.

(McGee, 2007). McGee, G. A *Robot Code of Ethics*. The Scientist. Vol. 21, Issue 5, pp30.

(McGrew, 2004). McGrew, K. *The Cattell-Horn-Carroll (CHC) Theory of Cognitive Abilities: Past, Present and Future.* Institute for Applied Psychometrics. http://www.iapsych.eom/CHCPP/l.lntroduction.html

(McGrew & Flanagan, 1998). McGrew, K. & Flanagan, D. *Intelligent Test Desk Reference (ITDR): The Gf-Gc Cross-Battery Assessment.* Upper Saddle River, NY: Pearson Education.

(Mielnik, 1988). Mielnik, B. *Ficción científica y relatividad general*. Avance y Perspectiva. Verano 1988, Vol. 35, pp. 34-40.

(Mingroni, 2004). Mingroni, M. *The Secutar Rise in IQ: Giving Heterosis a Closer Look*. Intelligence. Vol. 32, No. 1, pp. 65-83.

(Minsky, 1990). Minsky, M. *The Age of Intelligent Machines: Thoughts about Artificial Intelligence*. En KurzweilAI.net. http://www.kurzweilai.net/articles/art0100.html?printable=l

(Minsky, 1987). Minsky, M. *The Society of Mind*. First Touchstone Edition. New York, NY: Simon & Schuster.

(Minsky & Papert, 1969). Minsky, M. & Papert, S. *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*. Cambridge, MA: MIT Press.

(Mitchell, 1997). Mitchell, T. *Machine Learning*. Columbus, OH: McGraw Hill.

(Moravec, 2003). Moravec, H. *Robots, After All*. Communications of the ACM. Vol. 46, No. 10, pp. 90-97.

(Moravec, 1988). Moravec, H. *Mind Children: the future of robot and human intelligence*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

(Moravec, 1983). Moravec, H. *The Stanford Cart and the CMU Rover*.

Proceedings of the IEEE. Vol. 71, Issue 7, pp. 872-884.

(Mulhall, 2002). Mulhall, D. *Our Molecular Future*. Amherst, NY: Prometheus Books.

(Myhrvold, 2006). Myhrvold, N. *Moore's Law Corollary: Pixel Power*. Circuits.

The New York Times. June 7, 2006.

(Nayebi, 2009). Nayebi, A. *Parallel DNA implementation of fast matrix multiplication techniques based on an n-moduU set.* http://arxlv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0912/0912.0750vl.pdf

(NASA, 1999). *Reaching for the Stars. Scientists examine using antimatter and fusion to proper future spacecraft*, http://science.nasa.gov/sciencenews/science-at-nasa/1999/propl2apr99_l/

(Neisser, 1997). Neisser, U. *Rising Scores on Intelligence Test*. American Scientist. Vol. 85, Issue 5, pp.440-447.

(Neisser, 1976). Neisser, U. *Cognition and Reality: Principles and Implications of Cognitive Psychology* (2nd Ed.). San Francisco, CA: W. H. Freeman & Co.

(Neisser, 1967). Neisser, U. *Cognitive Psychology*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

(Neisser et al.; 1996). Neisser, U.; Boodoo, G.; Bouchard, T.; Boykin, A.; Brody,

N.; Ceci, S.; Halpern, D.; Loehlin, J.; Perloff, R.; Sternberg, R. & Urbina, S.

Intelligence: Known and Unkowns. American Psychologist. Vol. 51, No. 2, pp. 77-101.

(Newell & Simon, 1972). Newell, A. & Simon, H. *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

(Nilsson, 1984). Nilsson, N. *A Short Rebuttal to Searle*. http://ai.stanford.edu/~nilsson/OnlinePubs-Nils/General%20Essays/OtherEssays-Nils/searle.pdf

(Nisbett, 2009). Nisbett, R. *Intelligence and How to Get It: Why Schools and Culture Count*. New York, NY: W.W. Norton & Co.

(Nöe, 2009). Nöe, A. *Out of Our Heads: Why You Are Not Your Brain, and Other Lessons from the Biology of Consciousness*. New Cork, NY: Hill and Wang.

(Nöe, 2005). Nöe, A. *Action In Perception (Representation and Mind).* Cambridge, MA: MIT Press.

(Nyborg, 2003). Nyborg, H. *The Scientific Study of General Intelligence. Tribute to Arthur Jensen*. San Diego, CA: Pergamon.

(Ogihara & Ray, 1997). Ogihara, M. & Ray, A. *Simulating Boolean Circuits on a DNA Computer*. Proceedings of the first annual international conference on Computational molecular biology. Santa Fe, New Mexico, United States, pp226- 231

(Oliver, 1996). Oliver, J. *Computation with DNA: Matrix Multiplication*.

DIMACS: Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science. Vol. 44, PP113-122.

(Packan, 1999). Packan, P. *Device Physics: Pushing the Limits*. Science. Vol. 285, No. 5436, PP2079-2081.

(Palmer, 1999). Palmer, R. *Maintenance Planning and Scheduling Handbook.* Columbus, OH: McGraw-Hill Professional.

(Paragios et al.; 2005). Paragios, N,; Chen, Y. & Faugeras, 0. *The Handbook of Mathematical Models in Computer Vision*. New York, NY: Springer.

(Payne, 1985). Payne, W. *Study of Emotions: Developing Emotional Intelligence*. Doctoral Thesis. Dissertation Abstracts International, 47, p. 203A. The Union for Experimenting Colleges and Universities.

(Pearl, 2000). Pearl, J. *Casualty: Models, Reasoning, and Inference*. New York,

NY: Cambridge University Press.

(Pennington et a I.; 2000). Pennington, B.; Filipek, P.; Lefly, D.; Chhabildas, N.; Kennedy, D.; Simon, J.; Filley, C.; Galaburda, A. & DeFries, J. *A Twin MR!*

Study of Size Variations in the Human Brain. Journal of Cognitive Neuroscience. Vol. 12, No. 1, pp. 223-232.

(Penrose, 2005). Penrose, R. *The Road to Reality: A Complete Guide to the* Laws *of the Universe*. New York, NY: Knopf.

(Penrose, 1996). Penrose, R. *Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness*. New York, NY: Oxford University Press.

(Penrose, 1989). Penrose, R. The Emperor's *New Mind*: Computers, *Minds and the Laws of Physics*. Oxford: Oxford University Press.

(Peper et al.; 2007). Peper, J.; Brouwer, R.; Boomsma, D.; Kahan, R. & Hulshoff, P. *Genetic influences on human brain structure: a review of brain imaging studies in twins*. Human Brain Mapping. Vol. 28, Issue 6, pp. 464-473.

(Peters, 1995). Peters, M. Does *Brain size matters: A Reply to Rushton and Ankney*. Canadian Journal of Experimental Psychology. Vol. 49, No. 4, pp. 570-576.

(Piaget, 1999). Piaget, J. *La psicología de la inteligencia*. Título original: La Psychologie de l'intelligence. Barcelona: Editorial Crítica.

(Piva et al.; 2005). Piva, P.; DiLabio, G.; Pitters, J.; Zikovsky, J.; Rezeq, M.;

Dogel, S.; Hofer, W. & Wolkow, R. *Field regulation of single-molecule conductivity by a charged surface atom*. Nature. No. 435, pp. 658-661.

(Plomin et al.; 2004). Plomin, R.; Turic, D.; Hill, L; Turic, D.; Stephens, M.; Williams, J.; Owen, M. & O'Donovan, M. *A functional polymorphism in the*

succinate-semialdehyde dehydrogenase gene is associated with cognitive ability. Molecular Psychiatry. Vol. 9, pp. 582-586.

(Plomin et al.; 2000). Plomin, R.; DeFries, J.; McClearn, G.; & McGuffln, P. *Behavioral Genetics* (4th. Ed.). New York, NY: Worth Publishers.

(Pomerleau, 1989). Pomerleau, D. *ALVINN: an autonomous land vehicle in a neural network*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.

(Posthuma et al.; 2002). Posthuma, D.; De Geus, E.; Baare, W.; Hulshoff, H.; Kahan, R. & Boomsma, D. *The association between brain volume and intelligence is of generic origin*. Nature Neuroscience. Vol. 5, No. 2, pp. 83-84.

(Pring, 2005). Pring, L. *Savant Talent*. Development Medicine & Child Neurology. Vol. 47, No. 7, pp. 500-503.

(Rao & Jacobson, 2005). Rao, M. & Jacobson, M. *Developmental Neurobiology* (4th Ed.). New York, NY: Springer.

(Raven, 2000). Raven, J. *The Raven's Progressive Matrices: Change and Stability over Culture and Time*. Cognitive Psychology. Vol. 41, Issue 1, ppl-48.

(Reimers et al.; 2009). Reimers, J.; McKemmlsh, L; McKenzie, R.; Mark, A. & Hush, A. *Weak, strong, and coherent regimes of Fröhlich condensation and their applications to terahertz medicine and quantum consciousness*. PNAS. Vol. 106, pp. 4219-4224.

(Reiss et al.; 1996). Reiss, A.; Abrams, M.; Singer, H.; Ross, J. & Denckla, M.

Brain development, gender and IQ in children: A volumetric imaging study. Brain. Vol. 119, No. 5, ppl763-1774.

(Rogers, 2004). Roger, L. *Increasing the brain's capacity: neocortex, new neurons, and hemispheric specialization*. In Comparative vertevrate cognition. Are primates superior to non-primates? Rogers, L. & Kapla, G. (Eds.). New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers.

(Rose, 2009). Rose, S. *Darwin 200: Should scientists study race and IQ? NO: Science and* society *do not benefit*. Nature. Vol. 457, No. 7231, pp. 786-788.

(Rose, 2006). Rose, S. *Commentary: Heritability estimates—long past their sellby date*. International Journal of Epidemiology. Vol. 35, No. 3, pp. 525-527.

(Roth & Dicke, 2005). Roth, G. & Dicke, U. *Evolution of the brain and intelligence*. Trends in Cognitive Science. Vol. 9, No. 5, pp. 250-257.

(Roth et al.; 2001). Roth, P.; Bevler, C.; Bobko, P.; Switzer III, F. & Tyler, P. *Ethnic Group Differences in Cognitive Ability in Employment and Educational Settings: A Meta-Analysis*. Personnel Psychology. Vol. 54, Issue 2, pp. 297-330.

(Ruf, 2003). Ruf, D. *Use of the SB5 in the Assessment of High Abilities*. Stanford-Binet Intelligence Scales, Fifth Edition Assessment Service Bulletin No. 3. Itasca, II: Riverside Publishing.

(Rushton & Ankney, 2007). Rushton, J. & Ankney, C. *The evolution of brain size and intelligence*. In S. Platek, J. Keenan, & T. Shackelford (Eds.). *Evolutionary Cognitive Neuroscience*. Cambridge, MA: The MIT Press.

(Rushton & Jensen, 2006). Rushton, J. & Jensen, A. *The Totality of Available Evidence Shows the Race IQ Gap Still Remains*. Psychological Science. Vol. 17, No. 10, PP921-922.

(Rushton & Rushton, 2003). Rushton, J. & Rushton, E. *Brain size, IQ, and racialgroup differences: Evidence from musculoskeletal traits*. Intelligence. Vol. 31, Issue 2, ppl39-155.

(Rushton, 1995). Rushton, J. *Race, Evolution, and Behavior: A Life History Perspective*. New Brunswick, NJ: Transaction Publishers.

(Russell & Norvig, 2003). Russell, S. & Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (2nd Ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

(Russell, 1983). Russell, D. *Exponential evolution: Implications for intelligence extraterrestrial life*. Advances in Space Research. Vol. 3, No. 9, pp. 95-103.

(Rutter, 2010). Rutter, M. Gene-Environment *Interplay*. Depression and Anxiety. Vol. 27, ppl-4.

(Rutter, 2002). Rutter, M. *Nature, nurture, and development: from evangelism through science toward policy and practices*. Child Development. Vol. 73, No. 1, ppl-21.

(Sacerdoti, 1974). Sacerdoti, E. *Planning in a Hierarchy of Abstraction Spaces*. Artificial Intelligence. Vol. 5, No. 2, ppll5-135.

(Salgado, 2003). Salgado, E. *Aproximación epistemológica de la conciencia en psicología: una perspectiva comportamental*. Actualidades en psicología. Vol. 19, No. 106, pp. 45-64.

(Salovey & Mayer, 1990). Salovey, P. & Mayer, J. *Emotional Intelligence*. Imagination, Cognition and Personality. Vol. 9, No. 3, pp. l85-211.

(Santhanam et al.; 2006). Santhanam, G.; Ryu, S.; Yu, B.; Afshar, A. & Shenoy,

K. Nature. A *high-performance brain-computer interface*. Nature. Vol. 442, Issue 7099, ppl95-198.

(Sanz et al.; 2007). Sanz, R.; López, I.; Rodríguez, M. & Hernández, C. *Principles for consciousness in integrated cognitive control*. Neural Networks. Vol. 20, Issue 9, pp. 938-946.

(Sanz, 2005). Sanz, R. *Design and Implementation of an Artificial Conscious Machine*. International Workshop on Artificial Consciousness (IWAC 2005). Agrlgento, Sicily, Italy.

(Sawyer, 2006). Sawyer, R. *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. Proc. of the Intelligent Tutoring Systems. New York, NY: Cambridge Press.

(Sayre, 1993). Sayre, K. *Three more flaws in the computational model*. APA (Central Division) Annual Conference. Chicago, Illinois.

(Schale, 2000). Schaie, K. *The impact of longitudinal studies on understanding development from young adulthood to old age*. International Journal of Behavioral Development. Vol. 24, Issue 3, pp. 257-266.

(Schaie, 1996a). Schale, K. *Intellectual Development in Adulthood: The Seattle Longitudinal Study*. New York, NY: Cambridge University Press.

(Schaie, 1996b). Schale, K. *The natural history of a longitudinal study*. In M. Merrens & G. Brannlgan (Eds.). *The developmental psychologists* (*pp233*-249). New York, NY: McGraw Hill.

(Schank, 1972). Schank, R. *Conceptual Dependency: A Theory of Natural Language Understanding*. Cognitive Psychology. Vol. 3, No. 4, pp. 552-631.

(Schellenberg, 2004). Schellenberg, E. *Music Lessons Enhance IQ*. Psychological Science. Vol. 15, No. 8, pp. 511-514.

(Schmidhuber, 2007). Schmldhuber, J. 2006: *Celebrating 75 years of AI History and Outlook: the Next 25 Years*. Lecture Notes In Computer Science. Vol. 4850, pp. 29-41.

(Schoenemann et al.; 2000). Schoenemann, P.; Budinger, T.; Sarlch, V. & Wang, W. *Brain size does not predict general cognitive ability within families*. Proceedings of the National Academy of Sciences. USA. Vol. 97, No. 9, pp. 4932-4937.

(Schrödinger, 1944). Schrödinger, E. *What is Life? Mind and Matter*. Cambridge: Cambridge University Press.

(Scoville, 2007). Scoville, J. *Statistical* Distribution *of Childhood IQ* Scores. University of Kentucky, http://web.archive.org/web/20070809102122/ http://sweb.uky.edu/~jcscovO/ratioiq.htm

(SCRE, 1933). *The Intelligence of Scottish Children*. The Scottish Council for Research In Education. London: University of London Press.

(Searle, 2000). Searle, J. *Mind, Language and Society: Philosophy in the Real World*. New York, NY: Basic books.

(Searle, 1992). Searle, J. *The Rediscovery of the Mind (Representation and Mind).* Cambridge, MA: MIT Press.

(Searle, 1990). Searle, J. /s *the Brain's Mind a Computer Program?* Scientific American. Vol. 262, No. 1, pp. 26-31.

(Searle, 1980). Searle, J. *Minds, Brains and Programs*. Behavioral and Brain Science. Vol. 3, No. 3, pp. 417-457.

(Serpell, 1979). Serpell, R. *How Specific are Perceptual Skills? A Cross-Cultural Study of Pattern Reproduction*. British Journal of Psychology. Vol. 70, No. 3, pp. 365-380.

(Shafer & Pearl, 1990). Shafer, G. & Pearl, J. *Reading in uncertainty reasoning*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers.

(Shannon, 1950). Shannon, C. *Programming a Computer for Playing Chess*. Philosophical Magazine. Ser. 7, Vol. 41, No. 314, March 1950.

(Shayer et al.; 2007). Shayer, M.; Ginsburg, D. & Coe, R. *Thirty Years on-A Large Anti-Flynn Effect? The Piagetian Test Volume & Heaviness Norms 1975-2003*. British Journal of Educational Psychology. Vol. 77, No. 1, pp. 25-41.

(Shenkin et al.; 2001). Shenkln, S.; Starr, J.; Pattle, A.; Rush, M.; Whalley, L; Deary, I. & Pharaoh, E. *Birth weight and cognitive function at age 11 years: the Scottish Mental Survey 1932*. Archives of Disease in Childhood. Vol. 85, No. 3, pp. l89-196.

(Shortliffe, 1974). Shortliffe, E. *MYCIN: A Rule-Based Computer Program for Advising Physicians Regarding Microbial Therapy Selection*. PhD dissertation, Stanford University, Stanford.

(Silverman, 2003). Silverman, S. *The Key to Genius*. Wired. 11,12 December 2003.

(Simon & Newell, 1958). Simon, H. & Newell, A. *Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations Research*. Operations Research. Vol. 6, No. 1, pp. l-10.

(Skeels et al.; 1938). Skeels, H.; Updegraff, R.; Wellman, B. & Williams, H. *A Study of Environmental Stimulation: An Orphanage Preschool Project*. University of Iowa Studies In Child Welfare. Vol. 15, No. 4, ppl-191.

(Skinner, 1953). Skinner, B. *Science and Human Behavior*. New York, NY: Macmillan.

(Snyder et al.; 2006). Snyder, A.; Bahramall, H.; Hawker, T. & Mitchell, D. *Savant-like numerosity skills revealed in normal people by magnetic pulses*. Perception. Vol. 35, No. 6, pp. 837-845.

(Snyder et al.; 2003). Snyder, A.; Mulcahy, E.; Taylor, J.; Mitchell, D.; Sachdev,

P. & Gandevia, S. *Savant-like skills exposed in normal people by suppressing the left fronto-temporal lobe*. Journal of Integrative Neuroscience. Vol. 2, No. 2, pp. l49-158.

(Song et al.; 2009). Song, H.; Kim, Y.; Jang, Y.; Jeong, H.; Reed, M. & Lee, T. *Observation of molecular orbital gating*. Nature. No. 462, ppl039-1043.

(Spearman, 1904). Spearman, C. *General Intelligence, Objectively Determined and Measured*. American Journal of Psychology. Vol. 15, pp. 201-293.

(Steels, 2007). Steels, L. *The Symbol Grounding Problem has been solved*. So *what's next?* http://www.csl.sony.fr/downloads/papers/2007/steel

(Sternberg et al.; 2005). Sternberg, R.; Grigorenko, E. & Kidd, K. *Intelligence, race and genetics*. The American Psychologist. Vol. 60, No. 1, pp. 46-59.

(Sternberg & Kaufman, 1998). Sternberg, R. & Kaufman, J. *Human Abilities*. Annual Review of Psychology. Vol. 49, No. 1, pp. 479-502.

(Sternberg, 1997). Sternberg, R. *A Triarchic View of Giftedness: Theory and Practice*. In N. Coleangelo & G. A. Davis (Eds.). *Handbook of Gifted Education* (pp. 43-53). Boston, MA: Allyn and Bacon.

(Sternberg, 1991). Sternberg, R. *Death, Taxes, and Bad Intelligence Tests*. Intelligence. Vol. 15, No. 3, pp. 257-269.

(Sternberg & Detterman, 1986). Sternberg, R. & Detterman, D. *What is intelligence? Contemporary view points on Its nature and definition*. Norwood,

NJ: Ablex Publishing Corp.

(Sternberg, 1985). Sternberg, R. *Beyond IQ: A Triarchic Theory of Human Intelligence*. New York, NY: Cambridge University Press.

(Sun, 2006). Sun, R. *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Cambridge: Cambridge University Press.

(Swanson, 1995). Swanson, L. *Mapping the Human Brain: Past, Present and Future*. Trends in Neurosciences. Vol. 18, Issue 11, pp. 471-474.

(Takeno, 2010). Takeno, J. http://www.rs.cs.melji.ac.jp/Takeno_Archlve.html

(Talbot, 1991). Talbot, M. *The Holographic Universe*. New York, NY: Harper Collins.

(Tan et al.; 1999). Tan, U.; Tan, M.; Polat, P.; Ceylan, Y.; Suma, S. & Okur, A. *Magnetic resonance imaging brain size/IQ relations in Turkish University Students*. Intelligence. Vol. 27, No. 1, pp. 83-92.

(Teasdale & Owen, 2008). Teasdale, T. & Owen, D. *Secular declines in cognitive test scores: A reversal of the Flynn Effect*. Intelligence. Vol. 36, Issue 2, ppl21-126.

(Teasdale & Owen, 2005). Teasdale, T. & Owen, D. *A long-term rise and recent decline in intelligence test performance: The Flynn Effect In reverse*.

Personality and Individual Differences. Vol. 39, Issue 4, pp. 837-843.

(Tegmark, 2000). Tegmark, M. *Importance of quantum decoherence in brain process*. Phlsycal Review. Vol. 61, Issue 4, pp. 4194-4206.

(Terman, 1926). Terman, L. *Mental and Physical Traits of a Thousand Gifted Children. Genetic Studies of Genius, Vol. 1.* Stanford, CA: Stanford University Press.

(Tetlow, 2007). Tetlow, P. *The Web's Awake: An Introduction to the Field of Web Science and the Concept of Web Life*. Hoboken, NY: Wiley-IEEE PRESS.

(Thompson et al.; 2001). Thompson, P.; Cannon, T.; Narr, K.; van Erp, T.;

Poutanen, V.; Huttunen, M.; Lönnqvlst, L; Standertskjöld-Nordenstam, C.; Kaprio, J.; Khaledy, M.; Dail, R.; Zoumalan, C. & Toga, A. *Genetic influences on brain structure*. Nature Neuroscience. Vol. 4, No. 12, ppl253-1258.

(Thorndike, 1920). Thorndike, E. *Intelligence and Its Use*. Harper's Magazine. Vol. 140, pp. 227-235.

(Toffoli & Margolus, 1991). Toffoli, T. & Margolus, N. *Programmable matter: concepts and realization*. Physica D: Nonlinear Phenomena. Vol. 47, Issues 1-2, pp. 263-272.

(Tootell et al.; 1996). Tootell, R.; Dale, A.; Sereno, M. & Malaca, R. *New images from human visual cortex*. Trends In Neurosciences. Vol. 19, No. 11, pp481-489,

(Topol et. al.; 2006). Topol, A.; La Tulipe, D.; Shi, L.; Frank, D.; Bernstein, K.; Steen, S.; Kumar, A.; Singco, G.; Young, A.; Guarini, K. & Leong, M. *Threedimensional integrated circuits*. IBM Journal of Research and Development. Vol. 50, Issue 4/5, pp. 491-506.

(Treboux, 2002). Treboux, G. *Filosofía de la Conciencia*. Monografías. En: www.monografias.com/trabajosl4/filosofia-conciencla/filosofia-conclencia.shtml

(Treffen, 2009). Treffen, D. *Savant Syndrome: An Extraordinary Condition. A Sypnopsis: Past, Present, Future*. Philosophical Transactions of the Royal Society. Vol. 364, No. 1522, ppl351-1357.

(Treffen & Christensen, 2005). Treffen, D. & Christensen, D. *Inside the Mind of a Savant*. Scientific American. Vol. 293, No. 6, ppl08-113.

(Turing, 1950). Turing, A. *Computing Machinery and Intelligence*. Mind. Vol. 59, pp. 433-460.

(Turkheímer et al.; 2003). Turkheimer, E.; Haley, A.; Waldron, M.; D'Onofrio, B.

& Gottesman, I. *Socioeconomic status modifies herítability of IQ in young children*. Psychological Science. Vol. 14, No. 6, pp. 623-628.

(van Ijzendoom et al.; 2005). van Ijzendoom, M.; Juffer, F. & Klein Poelhuis, C. *Adoption and Cognitive Development: A Meta-analytic Comparison of Adopted and Nonadopted Children's IQ and School Performance*. Psychological Bulletin. Vol. 131, No. 2, pp. 301-316.

(Vinge, 1993). Vinge, V. *The Coming Technological Singularity. How to Survive to the Post-Human Era*. VISION-21 Symposium. NASA technical reports NASA CP-10129.

(von Baeyer, 2004). von Baeyer, H. *Information. The new Language of Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

(Waterhouse, 2006). Waterhouse, L. *Multiple Intelligences, the Mozart Effect, and Emotional Intelligence. A Critical Review*. Educational Psychologist. Vol. 41, No. 4, pp. 207-225.

(Watson, 2003). Watson, J. *DNA, The Secret of Life.* New York, NY; Knopf.

(Watson, 1997a). Watson, I. *Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise* Systems. San Francisco, CA; Morgan Kaufmann.

(Watson, 1997b). Watson, J. *Behaviorism*. Piscataway, NJ: Transaction Publishers.

(Watson & Crick, 1953). Watson, J. & Crick, F. A Structure for *Deoxyrib*ose *Nucleic Acid*. Nature. Vol. 3, No. 171, pp. 737-738.

(Wechsler, 1997). Wechsler, D. *Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale, III*. New York, NY: Psychological Corporation.

(Wechsler, 1958). Wechsler, D. *The measurement and appraisal of adult intelligence*. 4th ed. Baltimore, MD; Williams & Wilkins Company.

(Wechsler, 1940). Wechsler, D. *Non-intellective factors in general intelligence*. Psychological Bulletin. Vol. 37, pp. 444-445.

(Wechsler, 1939). Wechsler, D. *The Measurement of Adult Intelligence*. Baltimore, MD: The Williams & Wilkins Company.

(Weiskrantz, 1997). Weiskrantz, L. *Consciousness lost and found: A Neuropsychological Exploration*. Oxford: Oxford University Press.

(Weizenbaum, 1976). Weizenbaum, J. *Computer Power and Human Reason: From Judgment to Calculation*. New York, NY: W. H. Freeman & Company.

(Wickett et al.; 2000). Wickett, J.; Vernon, P. & Lee, D. *Relationships between factors of intelligence and brain volume*. Personality and Individual Differences. Vol. 29, No. 6, ppl095-1122.

(Wilson et al.; 2002). Wilson, M.; Kannangara, K.; Smith, G.; Simmons, M. & Raguse, B. *Nanotechnology: Basic Science and Emerging Technologies*. Danvers, MA: Chapman & Hall/CRC.

(Wong et al.; 2005). Wong, A.; Gottesman, I. & Petronis, A. *Phenotypic differences in genetically identical organisms: the epigenetic perspective*. Human Molecular Genetics. Vol. 14, Review Issue *1*, ppll-18.

(Woods et al.; 1972). Woods, W.; Kaplan, R. & Nash-Webber, B. *The Lunar Sciences Natural Language Information System: Final Report*. BBN Report 2378. Cambridge, MA: Bolt Beranek and Newman Inc.

(Woods, 1970). Woods, W. *Transition network grammars for natural language analysis*. Communications of ACM. Vol. 13, Issue 10, pp. 591-606.

(Wright, 1998). Wright, P. *Knowledge Discovery in Databases: Tools and Techniques*. Crossroads. Vol. 5, Issue 2, pp. 23-26.

(Yockey, 2005). Yockey, H. *Information Theory, Evolution, and the Origin of Life*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

(Young et al.; 2004). Young, R.; Ridding, M. & Morrell, T. *Switching skills on by turning off part of the brain*. Neurocase. Vol. 10, No. 3, pp. 215-222.

(Zhang, 2005). Zhang, S. *Designing Novel Materials and Molecular Machines*. The Promise of Biotechnology, Economic Perspective. EJournal USA, Oct. issue, pp. 22-26.

(Zhang, 2003). Zhang, S. *Fabrication of novel biomaterials through molecular self-assembly*. Nature Biotechnology. Vol. 21, No. 10, ppll71-1178.

OSVALDO GABRIEL CAIRÓ BATTISTUTTI (Ciudad de México, México). Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM) desde 1988 y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Sus trabajos en investigación se centran en el área de Inteligencia Artificial, principalmente en los campos relacionados con la inteligencia y el conocimiento. En docencia ha realizado trabajos en las áreas de Estructuras de Datos y Solución de Problemas. Es autor de varios libros de texto publicados por distintas editoriales reconocidas. Sus libros *Estructuras de Datos*, *Metodología de la Programación* y *Piensa en C* se convirtieron en clásicos. Ha publicado también más de 50 artículos en revistas y conferencias internacionales. Años atrás recibió el premio a los mejores docentes en las Carreras de Ingeniería en México, ha sido acreedor de una Cátedra Patrimonial de Excelencia por parte de CONACYT, de una beca de Naciones Unidas para realizar estudios de maestría y doctorado, y ha participado en proyectos de Investigación con financiamiento de CONACYT y de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Es miembro de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA), árbitro de CONACYT, del Programa de Becas Fullbright-García Robles, par consultor del CONICET (Argentina) y consultor de la CEPAL de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Obras: *Estructuras de datos*, 1993; *Metodología de la programación*, 2005; *De cero al infinito. Aprende a programar en Java*, 2020.

Notas

[1] El *transhumanismo* es un concepto filosófico generado por un movimiento intelectual internacional que apoya el uso de nuevas ciencias y tecnologías para incrementar las capacidades físicas y mentales de los humanos, con el objeto de corregir lo que algunos consideran aspectos Indeseables de la condición humana, tales como el sufrimiento, las enfermedades, el envejecimiento e incluso la llamada muerte. <<

[2] En la actualidad, la esperanza de vida se incrementa un año por cada lustro. <<

[3] La *singularidad tecnológica* hace referencia a una época en el futuro en el que el progreso tecnológico y el cambio social se acelerarán por el desarrollo de inteligencia superhumana, haciendo del futuro un período completamente diferente a nuestro presente. <<

Capítulo 1

[1] John McCarthy. *What is Artificial Intelligence*? http://www.formal.stanford.edu/jmc/whatisai/nodel.html <<

[2] Los siguientes datos representan un promedio de la velocidad de procesamiento de las máquinas personales. Observe el incremento en la velocidad de procesamiento con el transcurso de los años: a) Intel Pentium Pro, 1996: 541MIPS a 200Mhz; b) Intel Pentium III, 1999:1,354 MIPS a 500MHz; c) AMD Athlon, 2000: 3.561 MIPS a 1.2GHz; d) Intel Pentium IV Extreme Edition, 2003: 9,726 MIPS a 3.2GHz: e) XBox360 IBM Xenon Triple Core, 2005: 19,200 MIPS a 3.2GHz; f) AMD Athlon FX-60 Dual Core, 2006: 18,938 MIPS a 2.66GHz: g) Intel Core 2 Extreme X6800, 2006: 27,079 MIPS a 2.93Ghz: h) Intel Core i7 Extreme 965EE, 2008: 76,383 MIPS a 3.2Ghz: e i) Intel Core i7 Extreme Edition i980EE, 2010: 147,600 MIPS a 3.3Ghz. <<

[3] La máquina de ajedrez *Deep Blue*, que le ganó una partida al campeón mundial de ajedrez Garry Kasparov, en 1997, utilizaba chips que le permitían realizar alrededor de 3 millones de MIPS. <<

[4] El objetivo de estas predicciones es poder establecer una analogía entre dos máquinas: el cerebro humano y una computadora. <<

[5] El resultado se obtiene al realizar el siguiente cálculo: 1011 × (6×104) × 103 = 6×1018. <<

[6] Observe la disparidad entre las diferentes estimaciones sobre la velocidad de procesamiento del cerebro humano: Moravec: 108 MIPS: Kurzweil, 2×1010 MIPS: y último grupo de científicos: 6×1012 MIPS. Entre la primera y la última estimación la diferencia es de 60,000. Esto implica que el cerebro humano concebido por un grupo de científicos es muchísimo más rápido —60,000 veces— que el concebido por otro grupo. <<

Capítulo 2

[1] Artefacto tecnológico ficticio. <<

[2] Refiere a la cantidad de *influencia* que una neurona tiene sobre otra. <<

[3] El axón o fibra nerviosa es una propagación filiforme —en forma de hilos alargados— de una neurona o célula nerviosa, a través de la cual viaja el impulso eléctrico de forma unidireccional para establecer contacto con otra célula. <<

[4] Ada Byron King, la colega de Charles Babbage e hija del poeta lord Byron, más tarde conocida como la condesa de Lovelace después de haber contraído matrimonio con el conde de Lovelace, se considera la primera programadora. Construyó programas para la máquina analítica y fue una de las primeras en considerar la posibilidad de que la máquina jugara ajedrez o compusiera música. La objeción de Lovelace es la siguiente: *the machine can only do what we tell it to do* —comentario realizado sobre la máquina analítica de Babbage. <<

[5] Herbert Simon, conocido como el polymath, por sus investigaciones en el campo de la psicología cognitiva, computación, inteligencia artificial, administración pública, filosofía y sociología económica fue galardonado con el Premio Nobel de Economía en 1978, por sus investigaciones en el proceso de toma de decisiones en organizaciones económicas. <<

[6] Por sus siglas en inglés: Massachusetts Institute of Technology. <<

[7] LISP —*list processing*— es el segundo lenguaje de programación más antiguo que aún se utiliza. El primero es FORTRAN. <<

[8] Hoy conocida como la Universidad de Carnegie Mellon. <<

[9] Joshua Lederberg fue galardonado con el Premio Nobel de Medicina en 1958, por sus descubrimientos acerca de las combinaciones genéticas y la organización del material genético de las bacterias. <<

[10] Describe el efecto de una función que crece muy rápido, casi en forma astronómica, como resultado de las diferentes consideraciones combinatoriales. <<

[11] Información sobre *SHRDLU* se puede obtener en: http://hci.stanford.edu/~winograd/shrdlu/ <<

[12] La imagen se tomó de la página: http://www.stanford.edu/~learnest/cart_files/image008.jpg <<

[13] El ranking recibe ese nombre en honor a su creador, el húngaro Arpad Elo. <<

[14] El 21 de marzo de 2010, la versión *Deep Rybka* 3 alcanzó el primer lugar en el ranking Elo con 3,227 puntos. <<

[15] Dakshi Agrawal es considerado el padre de la *minería de datos*. Información sobre sus actividades y publicaciones se puede obtener en: http://www.research.ibm.com/ people/a/agrawal/. La *ACM* tiene un grupo de interés en *descubrimiento de conocimiento* y *minería de datos*: http://www.acm.org/sigs/sigkdd/ <<

[16] Una muy buena introducción al lenguaje natural realizada por Patrik Doyle —*Natural Language. AI Qual Summary*— puede obtener en: http://www.cs.dartmouth. edu/%7Ebrd/ Teaching/AI/Lectures /Summaries /natlang.html <<

[17] La Universidad Carnegie Mellon tiene una página web sobre *visión por computadora*: http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/cil/ftp/html/vision.html <<

[18] Una entrevista a Cynthia Breazeal sobre KISMET se puede consultar en: http://www.2001 halslegacy.com /interviews/braezeal.html <<

[19] Imagen tomada de la página: http://www.pacfs.org/wp/wp-content/uploads/2006/03/spirit-opportunity%20-%20large.jpg, también se puede encontrar en: https://mars.jpl.nasa.gov/mer/gallery/artwork/rover1browse.html <<

[20] La frase convergencia NBIC refiere a la combinación y sinergia de la nanotecnología, la biotecnología, las tecnologías de información y nuevas tecnologías de las ciencias cognitivas. <<

Capítulo 3

[1] Información sobre representación mental se puede obtener en http://plato.stanford.edu/entries/cognitive-science/ <<

[2] La plataforma *NuPIC* de *Numenta* para educación y experimentación se puede bajar libremente de la siguiente dlrección: http://www.download.com/Numenta-Platform-for-lntelligent-Computlng-NuPIC-/3000-2224_4-10652240.html <<

[3] Término utilizado por Aristóteles para caracterizar un discurso que puede ser verdadero o falso. <<

[4] En el año 2001, con la ayuda de una red de 110 procesadores instalados en la Universidad de Rice y la Universidad de Princeton, se encontró la trayectoria óptima para visitar 15,112 poblaciones de Alemania. El método estaba basado en programación lineal. En el año 2004 se trabajó sobre el PAV para 24,978 poblaciones de Suecia. El recorrido óptimo mostró que se necesitaban 72,500 km para recorrer todas las ciudades. En el 2005, utilizando el método Concorde TSP Solver, se resolvió el problema del tablero de un circuito con 33,810 puntos (Appleton et al.; 2006). <<

[5] Mayor información acerca del conductismo se puede obtener en http://www.monografias.com/trabajosl3/teapre/teapre.shtml <<

[6] Los conceptos de inteligencia artificial fuerte e inteligencia artificial débil se tratarán en el capítulo 10. <<

[7] Información adicional acerca de La Sala China se puede obtener en la siguiente dirección: http://plato.stanford.edu/entries/chineseroom/ <<

Capítulo 4

[1] El Diccionario de la Real Academia Española (DRAE. 1992) muestra este significado para la palabra volar. Del lat. volare. (1) Ir o moverse por el aire, sosteniéndose con las alas. Es propio de las aves y de muchos insectos. (2) Elevarse en el aire y moverse de un punto a otro en un aparato de aviación. (3) Elevarse una cosa en el aire y moverse algún tiempo por él. (4) Caminar o ir con gran prisa y aceleración. (5) Desaparecer rápida e inesperadamente una persona o cosa. (6) Sobresalir fuera del paramento de un edificio. (7) Ir por el aire una cosa arrojada con violencia. (8) Hacer las cosas con gran prontitud y ligereza. (9) Extenderse o propagarse con celeridad una especie entre muchos. (10) Pasar muy de prisa el tiempo. (11) Hacer saltar con violencia o elevar en el aire alguna cosa, especialmente por medio de una sustancia explosiva. (12) Irritar, enfadar, picar a uno. Aquella pregunta me voló. (13) Hacer que el ave se levante y vuele para tirar sobre ella. El perro voló la perdiz. (14). Soltar el halcón para que persiga al ave de presa. (15). Levantar una letra o signo de modo que resulte volado. <<

[2] El Diccionario de la Real Academia Española (DRAE, 1992) presenta este significado para nadar. Del lat. natäre. (1) Trasladarse una persona o un animal en el agua, ayudándose de los movimientos necesarios, y sin tocar el suelo ni otro apoyo. (2) Flotar en un líquido cualquiera. (3) Abundar en una cosa. (4) Estar una cosa muy holgada dentro de otra que le debiera venir ajustada. Se suele usar hablando del vestido y del calzado. <<

[3] Carver Mead, destacado científico americano, profesor emérito del Instituto de Tecnología de California, conocido comúnmente por Caltech -California Institute of Technology—, Premio Nacional de Tecnología en el año 2002, ha utilizado técnicas de VLSI para construir retinas y cócleas artificiales. Estos circuitos, basados en la anatomía y fisiología de la retina de un gato y de la cóclea de una lechuza, respectivamente, no utilizan ningún neuroquímico para alcanzar resultados similares a los del tejido sensible a la luz —retina— y al tubo enrollado en forma de espiral —cóclea—, localizado en el oído interno, y que contiene al órgano de Corti, el del sentido de la audición. <<

Capítulo 6

[1] Los ejemplos presentados en las tareas se obtuvieron de Deary (2001). <<

Capítulo 7

[1] Representa la forma alternativa que puede presentar un gen. <<

[2] La imagen se tomó de: http://es.wikipedia.org/wiki/ Archivo: Coquina_variation3.jpg, cuyo autor es Debivort. Cabe mencionar que dicha imagen se considera como una de las mejores imágenes que se encuentran en Wikipedia en inglés. Se recomienda al lector que siga la liga y abra el archivo con la calidad original para admirar la belleza de la imagen. <<

[3] Es una posición fija sobre un cromosoma, como la posición de un gen o de un marcador genético. <<

[4] Es una de las formas de la cromatina. Se encuentra condensada en la periferia del núcleo; se tiñe fuertemente con las coloraciones. Puede ser constitutiva o facultativa. <<

[5] Son proteínas pequeñas, de baja masa molecular, que se encuentran localizadas en el núcleo. <<

[6] Enfermedad genética rara que ocasiona un desorden neurológico en el cual se detectan dificultades severas de aprendizaje. <<

[7] Alteración genética que genera obesidad, baja altura, criptorquidia y alteraciones en el aprendizaje, que dan la impresión de una lesión cerebral severa. <<

[8] Patología neurológica que causa graves retrasos en la adquisición del lenguaje y en la adquisición de la coordinación motriz, se asocia con retraso mental. <<

Capítulo 8

[1] La encefalización representa el tamaño relativo del cerebro respecto al tamaño corporal. <<

[2] Un *clado* es el nombre que se le da en biología, a cada una de las ramas del árbol filogenético propuesto para agrupar a los seres vivos. Un clado, por lo tanto, es un conjunto de seres vivos emparentados, con un pasado y antepasados en común. <<

[3] Con *fenotipo negro* se hace referencia a individuos que tienen una tonalidad de la piel que va desde el marrón hasta el color casi negro. Aunque el fenotipo negro se puede utilizar para identificar a individuos de diferentes culturas y ubicación geográfica, generalmente se utiliza para describir a los individuos del África subsahariana o África negra, como se les conoce comúnmente. <<

[4] Asia del Este o Asia Oriental es una región del mundo que puede ser definida geográfica o culturalmente. Es una de las regiones más densamente pobladas del planeta e incluye a países como China, Japón, Corea del Sur, Corea del Norte y Mongolia. <<

[5] *El índice de Desarrollo Humano* es una medición que se obtiene por país, desarrollada por el *Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo* PNUD). Se basa en un indicador social estadístico compuesto por tres parámetros principales: vida larga y saludable, educación y nivel de vida digno. <<

[6] Se utiliza el término *pobreza artificial* para hacer referencia a un tipo de pobreza generado por la intervención sucia de los Estados, gobiernos y/o individuos. África negra es fuente de grandes riquezas mineras como el petróleo, cobre, oro, estaño, cobalto, cromo, uranio y diamantes. Asimismo tiene un enorme potencial energético, solar, eólico, fluvial y de biocombustibles. Resulta ilógico que una región rica tenga individuos empobrecidos. <<

[7] Información adicional se puede consultar en: http://news.bbc.co.Uk/2/hi/uk_news/education/4838498.stm <<

[8] Información en relación con las declaraciones de James Watson se puede obtener en:
http://entertainment.timesonline.co.uk/tol/arts_and_entertainment/books/article26307
<<

[9] Representa el manto del tejido nervioso que cubre los hemisferios cerebrales. <<

[10] Es una región del encéfalo —incluye al cerebro, cerebelo y tronco encefálico— cuya función principal es la de integrar las vías sensitivas y las vías motoras. <<

[11] Parte alta del tronco encefálico. <<

[12] Parte del cerebro que se halla entre el puente y el cerebelo. Se conoce también como protuberancia anular o puente de Varolio. <<

[13] Los paleoneurólogos estudian la tendencia evolutiva hacia la inteligencia biológica, a través de recursos paleontológicos, tales como el estudio de los huesos que rodean la cavidad cerebral tanto en vertebrados extintos como presentes. <<

[14] Peso promedio de un hombre adulto de los Estados Unidos. <<

[15] Peso promedio de una mujer adulta de los Estados Unidos. <<

Capítulo 9

[1] Se asocia con los *trastornos generalizados del desarrollo*. Es además bien conocido por ser una parte del espectro de trastornos autísticos. <<

[2] Los síntomas más destacados del síndrome son: expresión característica de la cara, retraso general en el desarrollo mental y defecto coronario de nacimiento —estenosis supravalvular aórtica. <<

[3] Nota publicada en *Columbian Centennial*, el 29 de diciembre de 1790, núm. 707, pp. 123. Died, Negro Tom, the famous African Calculator, aged 80 years. He was the property of Mrs. Elizabeth Cox of Alexandria. Tom was a very black man. He was brought to this country at the age of 14, and was sold as a slave… This man was a prodigy. Though he could never read or write, he had perfectly acquired the art of enumeration… He could multiply seven into Itself, that product by seven, and the products, so produced, by seven, for seven times. He could give the number of months, days, weeks, hours, minutes, and seconds in any period of time that any person chose to mention, allowing in his calculation for all leap years that happened in the time; he would give the number of poles, yards, feet, inches, and barley-corns in any distance, say the diameter of the earth's orbit; and in every calculation he would produce the true answer in less time than ninety-nine men out of a hundred would produce with their pens. And, what was, perhaps, more extraordinary, though interrupted in the progress of his calculation, and engaged in discourse necessary for him to begin again, but he would… cast up plots of land. He took great notice of the lines of land which he had seen surveyed. He drew just conclusions from facts; surprisingly so, for his opportunities. Had his [Thomas Fuller] opportunity been equal to those of thousands of his fellow-men… even a NEWTON himself, need have ashamed to acknowledge him a Brother in Science. <<

[4] Representa la mezcla de impresiones de sentidos diferentes. Un sinestético puede, por ejemplo, oír colores, ver sonidos y percibir sensaciones gustativas cuando toca un objeto con determinada textura. <<

[5] El oído perfecto, *perfect pitch*, representa la habilidad de una persona para reconocer o recrear una nota musical sin ninguna referencia externa. <<

[6] http://www.highiqsociety.org/ <<

[7] http://www.encefalica.mx.gd/ <<

[8] http://www.mensa.org/ <<

[9] http://www.intertei-iq.org/ <<

[10] www.toponesociety.com <<

[11] http://sunesis.110mb.com/ <<

[12] www.colloquysociety.org <<

[13] http://www.poeticgenius.com/ <<

[14] http://www.cerebrals.org/ <<

[15] http://www.abeautifulmind.com/ <<

[16] http://www.exactiq.com/ <<

[17] http://civ.iqsociety.org/ <<

[18] http://miienija.generiq.net/ <<

[19] http://www.triplenine.org/default.asp <<

[20] http://www.epimetheussociety.com/ <<

[21] http://hell.iqsociety.org/ <<

[22] http://tetra.generiq.net/ <<

[23] http://www.sigmasociety.com/old/platinum.htm <<

[24] http://www.megafoundation.org/Ultranet/ <<

[25] http://www.megasociety.org/ <<

[26] http://giga.iqsociety.org/ <<

[27] La geometría hiperbólica satisface sólo los cuatro primeros postulados de Euclides y tiene curvatura negativa. <<

[28] Lovachevsky modificó el quinto postulado de Euclides que decía: Si una línea recta cruza otras dos líneas rectas, forma ángulos interiores del mismo lado menores que dos ángulos rectos, entonces, si se continúan esas dos rectas indefinidamente, se cortan del lado en el que hay ángulos menores que los dos ángulos rectos, por este otro: Existen dos líneas paralelas a otra dada y que pasan por un punto dado que no está en la línea dada. <<

[29] La *cuadratura del círculo* es un problema que consiste en encontrar un cuadrado que tenga la misma área que un círculo dado. <<

Capítulo 10

[1] El *dualismo* sostiene que la mente y la materia son dos categorías separadas ortológicamente. En particular, el dualismo mente-cuerpo afirma que tanto la mente *como la* materia no *pueden* ser reducidas entre sí de ninguna manera. Por lo tanto, el dualismo es opuesto al *materialismo* en general y al *materialismo reductivo* o *fisicalismo*, en particular. El dualismo mente-cuerpo puede existir como *dualismo de sustancia* o como *dualismo de propiedad*. El primero sostiene que la mente y la materia están compuestos por sustancias diferentes. El segundo establece que no hay diferencia en las sustancias, pero las propiedades físicas y mentales son categorías diferentes que no se pueden reducir entre sí. <<

[2] El *materialismo* sostiene que la materia es la única sustancia, y por lo tanto todas las cosas, Incluida la conciencia, están compuestas de materia o de Interacciones entre materia. El materialismo también se conoce como *fisicalismo*. En realidad, el término fisicalismo es más moderno porque incorpora además de materia, nociones más sofisticadas de fisicalidad, como energía, espacio, tiempo, relaciones de onda/partículas, fuerzas no materiales producidas por partículas, fuerzas físicas, procesos físicos y estructurales, etcétera. <<

[3] El racionalismo considera a la razón como la fuente de conocimiento o justificación. En términos más técnicos, es un método o teoría en que la verdad surge de la deducción y el intelecto, y nunca puede ser sensorial. <<

[4] El empirismo sostiene que el conocimiento surge de la experiencia sensorial. Enfatiza la importancia tanto de la experiencia como de la evidencia en la formación de ideas, al mismo tiempo que desacredita la noción de ideas innatas. <<

[5] Se consideran mónadas cada una de las sustancias indivisibles, de distinta naturaleza, que componen el universo. La obra *Monadology* es uno de los grandes trabajos que representan la filosofía de Gottfried Leibniz. <<

[6] El filósofo francés Henri Bergson recibió el Premio Nobel de Literatura en 1927. <<

[7] Jean-Paul Sartre obtuvo el Premio Nobel de Literatura en 1964, pero declinó al mismo porque señalaba que la relación entre el hombre y la cultura se debe desarrollar sin pasar por las Instituciones. <<

[8] El *existencialismo* es un movimiento filosófico que considera que los seres humanos, en forma individual, son los que crean el significado y la esencia de sus vidas. Kierkegaard y Nietzsche son dos de los principales filósofos considerados fundamentales para el movimiento existencialista. <<

[9] El *idealismo* es una corriente filosófica que sostiene que la naturaleza de la realidad tiene su raíz en la mente o se basa en ideas. <<

[10] Francis Harry Compton Crick, físico y biólogo británico, recibió, junto con James Watson y Maurice Wilkins, el Premio Nobel de Medicina en 1962 por el descubrimiento de la estructura del ADN. <<

[11] La *esencia* de las emociones es la colección de cambios en el estado corporal que las células de los terminales nerviosos inducen en numerosos órganos, bajo el control de un sistema cerebral especializado, que responde al contenido de los pensamientos relativos a una entidad o acontecimiento específico. <<

[12] Crick y Koch definen NCC como los mecanismos neuronales mínimos o esenciales suficientes para una percepción consciente específica. <<

[13] El nombre *reducción objetiva orquestada* proviene de suponer que los microtúbulos formados por las proteínas tubulinas influencian u orquestan el procesamiento cuántico de los microtúbulos. <<

[14] El *entrelazamiento cuántico* se produce cuando dos partículas permanecen relacionadas entre sí formando un subsistema que no puede describirse separadamente. <<

[15] Recientemente se ha publicado un artículo que sugiere que la *condensación de Fröhlich* no puede ser la responsable de generar estados macroscópicos cuánticos (Reimers et al.; 2009). <<

[16] El *condensado Bose-Eisntein*, propiedad cuántica, es un estado de agregación de la materia que se presenta en ciertos materiales a una muy baja temperatura. La propiedad que lo caracteriza es que una cantidad macroscópica de las partículas del material pasan al nivel de mínima energía, denominado estado fundamental. <<

[17] Un estado cuántico macroscópico involucra múltiples partículas que comparten un estado cuántico. <<

[18] La transición cuántica-clásica se interpreta como una reducción cuasi-instantánea de la superposición de estados cuánticos de un sistema físico en un estado clásico concreto. Es el colapso de la función de onda en un estado clásico. La causa de este colapso permanece desconocida. <<

[19] Los sistemas cuánticos interactúan con otros sistemas en el cerebro y esta interacción es la que provoca que se deshagan los estados de superposición cuánticos de los qubits. Cuando el sistema se mantiene aislado hay coherencia cuántica. Cuando el sistema interactúa se produce la decoherencia cuántica. <<

[20] Un *zombie filosófico* es un ser hipotético que es indistinguible de un ser humano, excepto por su falta de experiencia consciente o *qualia*. <<

[21] Una buena introducción a la *consciencia artificial* y una serie de artículos on-line del tema se encuentran en la página: http://www.consciousness.it/CAI/CAI.htm <<

[22] El proyecto, *Machine consciousness through internal modelling*, desarrollado por Owen Holland, de la Universidad de Essex, en colaboración con Tom Trisciankо e Ian Gilchrist, de la Universidad de Bristol, recibió fondos por 493,290 libras. <<

[23] El *funcionalismo* es una teoría de la mente cercana al conductismo. La idea principal es que los estados mentales están constituidos por su rol funcional. <<

[24] Fenómeno secundario o derivado de otro fenómeno principal o determinante. Los materialistas, por ejemplo, consideran al pensamiento como un epifenómeno de la actividad cerebral. <<

[25] Un video sobre el primer trasplante de cabeza se puede observar en: http://www.tu.tv/videos/el-primer-transplante-de-cabeza <<

[26] Un ciberorganismo es un individuo constituido con partes biológicas y partes no biológicas. <<

Capítulo 11

[1] El *transhumanismo* es un concepto filosófico generado por un movimiento intelectual internacional que apoya el uso de nuevas ciencias y tecnologías para incrementar las capacidades físicas y mentales de los humanos, con el objeto de corregir lo que algunos consideran aspectos indeseables de la condición humana, tales como el sufrimiento, las enfermedades, el envejecimiento e incluso la llamada muerte. <<

[2] En la actualidad, la esperanza de vida se incrementa un año por cada lustro. <<

[3] La *singularidad tecnológica* hace referencia a una época en el futuro en que el progreso tecnológico y el cambio social se acelerarán por el desarrollo de inteligencia superhumana, haciendo del futuro un periodo completamente diferente a nuestro presente. <<

[4] La energía de f*luctuación cuántica del punto cero* es la energía más baja que un sistema mecánico cuántico puede tener. <<

[5] El cálculo de la cantidad de energía disponible en el planeta Tierra se puede observar en: http://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_energy_budget <<

[6] En el caso de las galaxias el cálculo es variable y dependiente de su tamaño. <<

[7] El valor surge al aplicar la fórmula propuesta por Carl Sagan, $K = (\log_{10}W-6)/10$, donde *K* representa el tipo de civilización de Kardashev y *W* la energía aprovechada en vatios. <<

[8] Se produciría un efecto conocido como *catástrofe maltusiana*, que ocurre cuando la producción agrícola ya no puede sostener el crecimiento de la población. <<

[9] Transistor molecular. El crédito corresponde a Hyunwook Song y Takhee Lee, investigadores del *Gwangju Institute of Science and Technology* de Corea del Sur. <<

[10] La computación molecular o *computación con ADN fue probablemente mencionada por primera vez en la charla* Hay Espacio de sobra allí abajo ***(There's Plenty of Room at the Bottom)*** *del físico Richard Feynman.* <<

[11] La *Ruta Hamiltoniana* es un problema de tipo NP completo. Dado un gráfico constituido por arcos que conectan a un conjunto de nodos o vértices, se dice que hay una ruta hamiltoniana desde el nodo origen A al nodo destino B, si existe un único conjunto de arcos que une al vértice A con el vértice B pasando una sola vez por cada uno de los nodos. Por lo tanto, el problema consiste en decidir si para un gráfico dado existe o no una ruta hamiltoniana. <<

[12] El TMR, tunnel magnetoresistance, es un efecto de magnetorresistencia, descubierto por Jullière en 1975, que ocurre en la unión de túneles magnéticos. La magnetorresistencia, por otra parte, representa la propiedad de un material de cambiar el valor de su resistencia eléctrica cuando un campo magnético es aplicado a éste. <<

Capítulo 12

[1] El *cambio de aceleración* hace referencia a un incremento considerable e irreversible en la tasa de progreso tecnológico, que implica cambios profundos y rápidos en el futuro. <<

[2] El concepto de *superinteligencia* hace referencia a un artefacto o un cerebro humano incrementado —en términos de intelecto- artificialmente, más poderoso, creativo y sabio que el de los actuales humanos. <<

[3] En la *singularidad gravitacional* existe un punto en que las reglas de la física dejan de ser válidas y en el que la convergencia hacia valores infinitos hace imposible definir una función. <<

[4] En el sitio de BlueGene de IBM se pueden consultar 22 artículos que tratan acerca de esta supercomputadora, http://www.research.ibm.com/journal/rd49-23.html <<

[5] El artículo se puede consultar en: http://www.nytimes.com/2001/ll/27/science/physical27DNA.html <<

[6] Información sobre el proyecto: http://research.llfeboat.com/carbon_monoxicle.htm <<

[7] La holografía es una técnica avanzada de fotografía, que utiliza un rayo láser para grabar microscópicamente una película fotosensible. Ésta, al recibir la luz desde la perspectiva adecuada, proyecta una imagen en tres dimensiones. <<

[8] En el siguiente sitio se pueden observar diferentes videos sobre *Braingate*:

http://cnettv.cnet.com/60-minutes-braingate-movement-controiled-mind/9742-1_53-5000_319.html <<

[9] Información sobre el profesor Shimoyama y sus proyectos se pueden localizar en la página:

http://www. leopard.t.u-tokyo.ac.jp/ <<

[10] Información sobre esta simulación se puede obtener en la página: http://www.research-in-germany.de/44230/2010-03-31-world-record-j-lich-supercomputer-simulates-quantum-computer.sourcePageId=12482.html <<

[11] Jürgen Schmidhuber (2007) estima que las máquinas en el año 2020 serán mil veces más veloces que las actuales. <<

[12] Fuente: Goldman Sachs, *Global Economy Paper*, núm. 99, octubre de 2003. <<

[13] Predicción del futurista Michael Rogers. <<

[14] Vida *artificial* implica, de cierta forma, las capacidades de nacer, crecer, reproducirse y morir. También se estima que se tendrá la capacidad de evolucionar después de sucesivas generaciones. <<

[15] Información sobre *Spaceport America* se encuentra en: www.spaceportamerica.com <<

[16] En el sitio web de *Virgin Galactic* se puede realizar la reservación del vuelo: http://www.virgingalactic.com/booking/ <<

[17] Información sobre el telescopio SKA: http://www.skatelescope.org/ <<

[18] Consultar *The Hot New Medium: Paper.* www.wired.com/wired/archive/9.04/anoto. html <<

[19] Información sobre *nanowalkers* se puede obtener en: http://online.sfsu.edu/~rone/Nanotech/nanostepdown.htm <<

[20] Fujitsu Fanuc, por ejemplo, se dedica a la fabricación de máquinas de control numérico, servomotores y robots —como tantas otras industrias—, pero la fábrica tiene la particularidad de que está completamente automatizada, las tareas de ensamblaje, inspección de partes y verificación del producto son llevadas a cabo por robots. Materiales, partes y componentes se encuentran en almacenes automatizados controlados por computadoras. Son robots los que producen robots. La única gran diferencia actual de esta gran maquinaria automatizada con las nanomáquinas de materiales del futuro, es que estas últimas se encuentran a nanoescala. <<

[21] Jürgen Schmidhuber (2007) estima que las máquinas en el año 2030 serán un millón de veces más veloces que las actuales. <<

[22] Los 10 países más poblados del planeta en el año 2030 serán: India, China, Unión Europea, Estados Unidos, Indonesia, Pakistán, Brasil, Nigeria, Bangladesh y Etiopía. <<

[23] Un video interesante sobre aviones hipersónicos se puede observar en: http://www. futuretimeline.net/21stcentury/2030-2039.htm#hypersonic <<

[24] Para obtener información adicional sobre el proyecto *JAXA* consultar: http://moon. axa.jp/en/index.html <<

[25] La *propiocepción* es el sentido que informa al organismo, a través del cerebro, de la posición de los músculos. <<

[26] Richard Feynman (1918-1988), físico estadounidense, es considerado uno de los científicos más importantes de su país en el siglo XX. Su trabajo en electrodinámica cuántica le valió el Premio Nobel de Física en 1965. En su juventud Feynman participó en el desarrollo de la bomba atómica en el proyecto Manhattan. <<

[27] Para obtener mayor información sobre terapias regenerativas consultar: http://www. medicaidevice-network.com/features/feature81032/ <<

[28] Técnica que consiste en generar imágenes tridimensionales utilizando un rayo láser, que graba una película fotosensible. Ésta, al recibir la luz desde la perspectiva adecuada, proyecta la imagen en tres dimensiones. <<

[29] Un *vóxel* representa la unidad cúbica que compone un objeto tridimensional. Constituye la unidad mínima procesable de una matriz tridimensional. Se puede considerar como equivalente al pixel en un objeto de dos dimensiones. <<

[30] *Materia programable* refiere específicamente a la *materia* que tiene la capacidad de cambiar sus propiedades físicas, tales como forma, densidad, módulos, propiedades ópticas, etc., de un modo programable, basado tanto en entradas del usuario o sensores autónomos. <<

[31] En la siguiente página web de la Universidad de Carnegie Mellon se pueden observar diferentes videos sobre proyectos de *catoms.* http://www.cs.cmu.edu/~claytronics/multimedia/index.html <<

[32] Para obtener mayor información sobre el proyecto, consultar: http://www,seymourpowell.com/aircruise/aircruise-press-release.html. Un video interesante se puede también observar en: http://www.youtube.com/watch?v=bP15Vgt55Gk <<

[33] *Nanobot es* un término utilizado para describir un nanorobot, un robot a escala atómica o molecular. <<

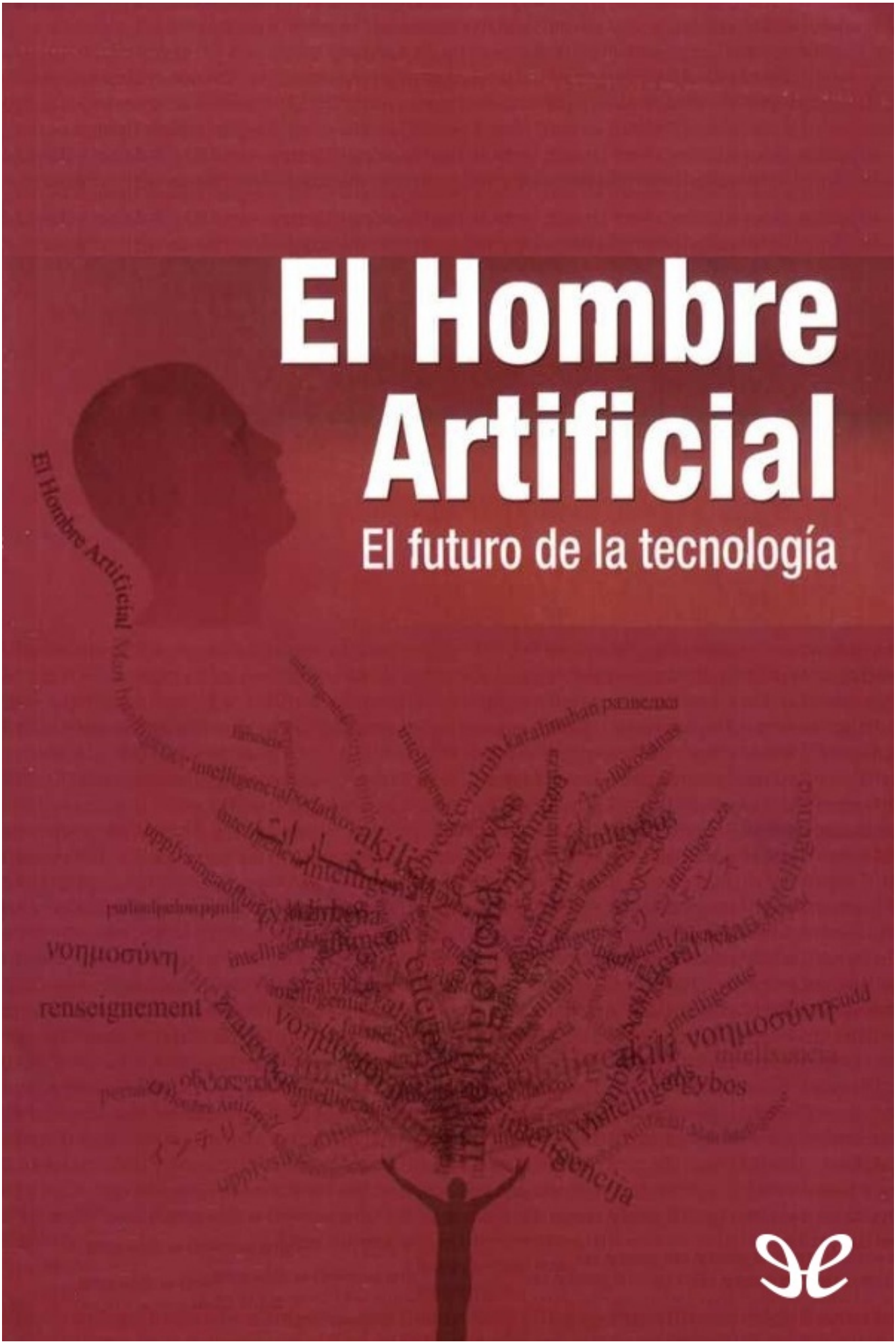
[34] Para obtener información sobre Alcor consultar: http://es.wikipedia.org/wiki/Alcor_Life _Extension_Foundation <<

[35] El artículo de Forbes se puede consultar en:

http://www.forbes.com/2010/07/28/flying-car-transition-technology-terrafugia.html <<

[36] Información sobre los vehículos de *Terrafugia* se puede obtener en:

http://content.usatoday.com/communities/driveon/post/2010/09/flying-car-production-could-start-within-three-months <<


El Hombre Artificial
El futuro de la tecnología
El Hombre Artificial